

# **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO A PARTIR DE LA MEZCLA CON RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN**

**David Escobar Zarrabe**

**Sebastián Giraldo Hoyos**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería civil**

**Manuel Builes Brand**

**Ingeniero Civil**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA  
INGENIERÍA CIVIL  
ENVIGADO  
2013**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se le agradece a lo largo de esta carrera a Enrique, Martha, Mariela, Ana María, Hernán, Carolina, David, Mateo, Manuel y a todas las personas en general que hicieron parte de este proceso.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

# CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. PRELIMINARES .....	17
1.1. Planteamiento del problema .....	17
1.2. Objetivos del proyecto .....	18
1.2.1. Objetivo General .....	18
1.2.2. Objetivos Específicos .....	18
1.3. MARCO TEÓRICO .....	18
1.3.1. Proceso de elaboración del ladrillo.....	18
1.3.2. Ensayo de corte directo (norma técnica ASTM D 3080). .....	19
1.3.3. Parámetros de resistencia del suelo. ....	22
1.3.4. Ensayo de Granulometría por mallas (norma técnica ASTM D 422). ....	23
1.3.5. Ensayo por Hidrómetro (norma técnica ASTM D 422). ....	24
1.3.6 Teoría de consolidación. ....	24
1.4. ANTECEDENTES .....	32
1.5. Justificación .....	33
2. METODOLOGÍA .....	35
3. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	36
3.1. Granulometría por mallas (norma técnica ASTM D 422).....	37
3.2. Granulometría por hidrómetro (norma técnica: ASTM D 422). ....	40
3.3. Ensayo de granulometría para el ladrillo.....	42
3.4.Ensayo de gravedad específica (norma técnica ASTM C 127). ....	44

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.5. Límites de Atterberg (NORMA TÉCNICA ASTM D 4318-84). .....	45
3.6. Compactación proctor estándar (NORMA TÉCNICA ASTM D 698). .....	46
3.7. Ensayo de corte directo (NORMA TÉCNICA ASTM D 3080). .....	49
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	56
4.1. Clasificación del suelo. ....	56
4.2. Resultados ensayo corte directo. ....	57
4.3. Resultados modelación en slide. ....	60
4.4. Resultados ensayos consolidación. ....	62
5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS .....	81

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Perfiles típicos que caracterizan el barrio el Poblado parte baja (Alcaldía de Medellín, 2011).....	37
Tabla 2. Resultados de granulometría por mallas fracción gruesa. ....	39
Tabla 3. Datos obtenidos de la prueba por hidrómetro .....	41
Tabla 4. Resultados de tamaño de grano. ....	42
Tabla 5. Resultados de tamizaje para el ladrillo. ....	43
Tabla 6. Resultados de gravedad específica. ....	44
Tabla 7. Resultados de límite líquido y plástico. ....	45
Tabla 8. Tabla de compactación Proctor Estándar.....	47
Tabla 9. Tabla resumen de compactación Proctor Estándar.....	47
Tabla 10. Especificaciones de molde de compactación. ....	49
Tabla 11. Especificaciones anillo número 1 .....	51
Tabla 12. Tabla de cohesión corte directo. ....	52
Tabla 13. Tabla de ángulos de fricción corte directo. ....	52
Tabla 14. Resultados límites de Atterberg. ....	56
Tabla 15. Resumen factores de seguridad por cada método .....	60
Tabla 16. Resultados parámetros anillo fijo por porcentaje de ladrillo.....	63
Tabla 17. Resultados parámetros anillo flotante por porcentaje de ladrillo.....	69

# LISTA DE FIGURAS

pág.

Ilustración 1. Caja de corte directo. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A.) .....	20
Ilustración 2. Caja de corte estado inicial. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A.) .....	21
Ilustración 3. Curva granulométrica típica. (BOWLES, 1981) .....	24
Ilustración 4. Esquema de ensayo de consolidación (DAS, 2001) .....	26
Ilustración 5. Curva de compresibilidad del suelo. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005) .....	26
Ilustración 6. Curva de compresibilidad. (Universidad Nacional de Rosario, s.f.) .....	28
Ilustración 7. Gráfica de esfuerzo deformación. (Universidad Nacional de Rosario, s.f.)..	29
Ilustración 8. Gráfica de compresibilidad semilogarítmica. (DAS, 2001) .....	29
Ilustración 9. Gráfica de relación de Uz con Tv. (DAS, 2001) .....	30
Ilustración 10. Gráfica de ensayo de consolidación. (Universidad de Chile, 2007) .....	31
Ilustración 11. Imagen de soil nailling. (Foto tomada en la obra Milla de Oro, cortesía S.G.H). .....	34
Ilustración 12. Lugar de muestreo. (Foto tomada de la obra Milla de Oro, cortesía de S.G.H) .....	36
Ilustración 13. Cuarteo de muestra de suelo. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A). .....	38
Ilustración 14. Gráfica de curva granulométrica fracción gruesa. ....	39
Ilustración 15. Prueba de hidrómetro. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A). .....	40
Ilustración 16. Curva por hidrómetro. ....	42

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 17. Gráfica de tamizaje para el ladrillo. ....	43
Ilustración 18. Gráfica de límite líquido. ....	45
Ilustración 19. Copa de Casagrande. (Foto tomada del laboratorio de suelos E.I.A.).....	46
Ilustración 20. Gráfica de compactación. ....	48
Ilustración 21. Muestras en anillo de corte directo. ....	50
Ilustración 22. Ensayo de corte directo. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A.). ....	51
Ilustración 23. Resumen de envoltentes de falla de 8 y 12 % de ladrillo triturado.....	53
Ilustración 24. Resumen de envoltentes de falla de cilindros con 0 y 4 % de material. ...	54
Ilustración 25. Envoltente de falla cilindro 5 Muestra con 8 % de ladrillo. ....	55
Ilustración 26. Tabla de clasificación unificada de suelos USCS. (Pontificia universidad Católica de Valparaíso, s. f.) .....	57
Ilustración 27. Gráfica de cohesión promedio por porcentaje de ladrillo.....	58
Ilustración 28. Gráfica de ángulos de fricción promedio por porcentaje de ladrillo. ....	59
Ilustración 29. Gráfica de factores de seguridad por cada uno de los métodos y porcentaje de ladrillo. ....	61
Ilustración 30. Curva de compresibilidad aritmética anillo fijo. ....	62
Ilustración 31. Curva de compresibilidad logarítmica anillo fijo.....	63
Ilustración 32. Gráfica de coeficientes de compresibilidad de anillo fijo. ....	64
Ilustración 33. Gráfica de índices de compresión de anillo fijo. ....	64
Ilustración 34. Gráfica de índices de expansión de anillo fijo. ....	65
Ilustración 35. Gráfica de permeabilidad anillo fijo. ....	65
Ilustración 36. Gráfica de asentamientos anillo fijo. ....	66
Ilustración 37. Curva de compresibilidad aritmética anillo flotante. ....	67
Ilustración 38. Curva de compresibilidad logarítmica anillo flotante. ....	68

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 39. Gráfica de coeficientes de compresibilidad anillo flotante. ....	69
Ilustración 40. Gráfica de índices de compresión anillo flotante. ....	70
Ilustración 41. Gráfica de índices de expansión anillo flotante. ....	70
Ilustración 42. Gráfica de permeabilidad anillo flotante. ....	71
Ilustración 43. Gráfica de asentamientos anillo flotante. ....	71
Ilustración 44. Curva compresibilidad anillo fijo y anillo flotante. 0 % Ladrillo. ....	72
Ilustración 45. Curva compresibilidad anillo fijo y anillo flotante. 4 % Ladrillo. ....	73
Ilustración 46. Curva compresibilidad anillo fijo y anillo flotante. 8 % Ladrillo. ....	74
Ilustración 47. Curva compresibilidad anillo fijo y anillo flotante. 12 % Ladrillo. ....	75



## LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Tabla cilindro 1 muestra testigo. ....	81
Anexo 2. Gráfica de esfuerzo deformación cilindro 1 muestra testigo. ....	82
Anexo 3. Envolvente de falla cilindro 1 muestra testigo. ....	82
Anexo 4. Tabla cilindro 2 muestra testigo. ....	83
Anexo 5. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 2 muestra testigo. ....	84
Anexo 6. Envolvente de falla cilindro 2 muestra testigo. ....	84
Anexo 7. Tabla cilindro 3 muestra testigo. ....	85
Anexo 8. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 3 muestra testigo. ....	85
Anexo 9. Envolvente de falla cilindro 3 muestra testigo. ....	86
Anexo 10. Tabla cilindro 4 muestra testigo. ....	86
Anexo 11. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 4 muestra testigo. ....	87
Anexo 12. Envolvente de falla cilindro 4 muestra testigo. ....	87
Anexo 13. Tabla cilindro 5 muestra testigo. ....	88
Anexo 14. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 5 muestra testigo. ....	89
Anexo 15. Envolvente de falla cilindro 5 muestra testigo. ....	89
Anexo 16. Tabla cilindro 1 muestra de 4 %. ....	90
Anexo 17. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 1 muestra 4 %. ....	91
Anexo 18. Envolvente de falla cilindro 1 muestra 4 %. ....	91
Anexo 19. Tabla cilindro 2 muestra 4%. ....	92

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Anexo 20. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 2 muestra 4 %.	93
Anexo 21. Envolverte de falla cilindro 2 muestra 4 %.	93
Anexo 22. Tabla cilindro 3 muestra 4 %.	94
Anexo 23. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 3 muestra 4 %.	94
Anexo 24. Envolverte de falla cilindro 3 muestra 4 %.	95
Anexo 25. Tabla cilindro 4 muestra 4 %.	95
Anexo 26. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 4 muestra 4 %.	96
Anexo 27. Envolverte de falla cilindro 4 muestra 4 %.	96
Anexo 28. Tabla cilindro 5 muestra 4 %.	97
Anexo 29. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 5 muestra 4 %.	97
Anexo 30. Envolverte de falla cilindro 5 muestra 4 %.	98
Anexo 31. Tabla cilindro 1 muestra 8 %.	98
Anexo 32. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 1 muestra 8 %.	99
Anexo 33. Envolverte de falla cilindro 1 muestra 8 %.	99
Anexo 34. Tabla cilindro 2 muestra 8 %.	100
Anexo 35. Gráfica de esfuerzo deformación cilindro 2 muestra 8 %.	101
Anexo 36. Envolverte de falla cilindro 2 muestra 8 %.	101
Anexo 37. Tabla cilindro 3 muestra 8 %.	102
Anexo 38. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 3 muestra 8 %.	103
Anexo 39. Envolverte de falla cilindro 3 muestra 8 %.	103
Anexo 40. Tabla cilindro 4 muestra 8 %.	104
Anexo 41. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 4 muestra 8 %.	105
Anexo 42. Envolverte de falla cilindro 4 muestra 8 %.	105

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Anexo 43. Tabla cilindro 5 muestra 8 %.....	106
Anexo 44. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 5 muestra 8 %. ....	106
Anexo 45. Envolvente de falla cilindro 5 muestra 8 %.....	107
Anexo 46. Tabla cilindro 1 muestra 12 %.....	107
Anexo 47. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 1 muestra 12 %. ....	108
Anexo 48. Envolvente de falla cilindro 1 muestra 12%.....	108
Anexo 49. Tabla cilindro 2 muestra 12 %.....	109
Anexo 50. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 2 muestra 12 %. ....	109
Anexo 51. Envolvente de falla cilindro 2 muestra 12 %.....	110
Anexo 52. Tabla cilindro 3 muestra 12 %.....	110
Anexo 53. Gráfica de esfuerzo deformación cilindro 3 muestra 12 %. ....	111
Anexo 54. Envolvente de falla cilindro 3 muestra 12 %.....	111
Anexo 55. Tabla cilindro 4 muestra 12 %.....	112
Anexo 56. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 4 muestra 12 %. ....	112
Anexo 57. Envolvente de falla cilindro 4 muestra 12 %.....	113
Anexo 58. Tabla cilindro 5 muestra 12 %.....	113
Anexo 59. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 5 muestra 12 %. ....	114
Anexo 60. Envolvente de falla cilindro 5 muestra 12 %.....	114
Anexo 61. Factor de seguridad por Fellenius 0% de ladrillo triturado.....	115
Anexo 62. Factor de seguridad Bishop simplificado 0 % de ladrillo triturado.....	115
Anexo 63. Factor de seguridad Janbu simplificado 0 % ladrillo triturado. ....	116
Anexo 64. Factor de seguridad Janbu corregido 0 % ladrillo triturado.....	116
Anexo 65. Factor de seguridad Spencer 0 % ladrillo triturado.....	117

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Anexo 66. Factor de seguridad Fellenius 4 % ladrillo triturado.....	117
Anexo 67. Factor de seguridad Bishop simplificado 4 % ladrillo triturado.....	118
Anexo 68. Factor de seguridad Janbu simplificado 4 % ladrillo triturado.....	118
Anexo 69. Factor de seguridad Janbu corregido 4 % ladrillo triturado.....	119
Anexo 70. Factor de seguridad Spencer 4 % ladrillo triturado.....	119
Anexo 71. Factor de seguridad Fellenius 8 % ladrillo triturado.....	120
Anexo 72. Factor de seguridad Bishop simplificado 8 % ladrillo triturado.....	120
Anexo 73. Factor de seguridad Janbu simplificado 8 % ladrillo triturado.....	121
Anexo 74. Factor de seguridad Janbu corregido 8 % ladrillo triturado.....	121
Anexo 75. Factor de seguridad Spencer 8 % ladrillo triturado.....	122
Anexo 76. Factor de seguridad Fellenius 12 % ladrillo triturado.....	122
Anexo 77. Factor de seguridad Bishop simplificado 12 % ladrillo triturado.....	123
Anexo 78. Factor de seguridad Janbu simplificado 12 % ladrillo triturado.....	123
Anexo 79. Factor de seguridad Janbu corregido 12 % ladrillo triturado.....	124
Anexo 80. Factor de seguridad Spencer 12 % ladrillo triturado.....	124
Anexo 81. Tabla de ensayos de consolidación 0 % de ladrillo triturado. ....	125
Anexo 82. Tabla de ensayos de consolidación 4 % de ladrillo triturado. ....	126
Anexo 83. Tabla de ensayos de consolidación 8 % de ladrillo triturado. ....	127
Anexo 84. Tabla de ensayos de consolidación 12 % de ladrillo triturado. ....	128
Anexo 85. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 0% anillo fijo. ....	129
Anexo 86. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 4 % anillo fijo. ....	129
Anexo 87. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 8 % anillo fijo. ....	130
Anexo 88. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 12 % anillo fijo. ....	130

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Anexo 89. Gráfica de esfuerzo vs e 0 % anillo fijo. ....	131
Anexo 90. Gráfica de esfuerzo vs e 4 % anillo fijo. ....	131
Anexo 91. Gráfica de esfuerzo vs e 8 % anillo fijo. ....	132
Anexo 92. Gráfica de esfuerzo vs e 12 % anillo fijo. ....	133
Anexo 93. Gráfica de raíz de tiempo vs e 0 % anillo fijo.....	133
Anexo 94. Gráfica de raíz de tiempo vs e 4 % anillo fijo.....	134
Anexo 95. Gráfica de raíz de tiempo vs e 8 % anillo fijo.....	134
Anexo 96. Gráfica de raíz de tiempo vs e 12 % anillo fijo.....	135
Anexo 97. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 0 % anillo flotante. ....	135
Anexo 98. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 4 % anillo flotante. ....	136
Anexo 99. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 8 % anillo flotante. ....	137
Anexo 100. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 12 % anillo flotante. ....	137
Anexo 101. Gráfica de esfuerzo vs e 0 % anillo flotante. ....	138
Anexo 102. Gráfica de esfuerzo vs e 4 % anillo flotante. ....	138
Anexo 103. Gráfica de esfuerzo vs e 8 % anillo flotante. ....	139
Anexo 104. Gráfica de esfuerzo vs e 12 % anillo flotante. ....	139
Anexo 105. Gráfica de raíz de tiempo vs e 0 % anillo flotante.....	140
Anexo 106. Gráfica de raíz de tiempo vs e 4 % anillo flotante.....	140
Anexo 107. Gráfica de raíz de tiempo vs e 8 % anillo flotante.....	141
Anexo 108. Gráfica de raíz de tiempo vs e 12 % anillo flotante.....	141

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## RESUMEN

La tendencia actual de una gran proporción de estudios e investigaciones en el mundo está enfocada a la interacción del planeta con el hombre, principalmente sobre cómo se puede disminuir el impacto ambiental que generan las actividades desarrolladas para el sostenimiento y la vida de las personas. En el área de suelos por ejemplo, se buscan materiales que sean amigables con el medio ambiente y que a su vez ayuden a la mejora de estos.

Este trabajo de grado tuvo como propósito realizar un análisis por medio de ensayos de corte directo. Si los residuos de ladrillo (poco contaminado) se pudieran tomar como un material que mejorara las propiedades físicas y mecánicas de un suelo fino. Para poder analizar esto se realizaron 12 ensayos por cada muestra, y cada muestra tenía un porcentaje de ladrillo triturado diferente (0, 4, 8 y 12 %).

Con los resultados finales se pudo establecer que la cohesión del suelo aumenta al agregar ladrillo triturado cuando el porcentaje de material es 8%, mientras que el ángulo de fricción interno disminuye especialmente cuando la proporción del triturado es del 12%.

## **ABSTRACT**

The current trend of a large proportion of studies and research in the world are focused on the interaction with the planet with humans, mainly about how you can reduce the environmental impact generated by activities for sustaining and life of people. For example in soil's area, studies looking for materials that are friendly to the environment and that in turn will help to improve these.

This work was to carry out an analysis using direct shear tests if the waste brick (slightly polluted) could be taken as a material to improve physical and mechanical properties of a soil. To analyze this were 12 trials for each sample, and each sample had a different crushed brick percentage (0, 4, 8 and 12 %).

The final results define that cohesion of the soil increases by adding crushed brick, while the internal friction angle decreases especially when the ground proportion is 12 %.

## INTRODUCCIÓN

El ladrillo es un material cerámico proveniente de un proceso en el cual un suelo arcilloso es sometido a altas temperaturas. En construcción es común el uso de este material para hacer muros divisorios y fachadas principalmente. Cuando el ladrillo es triturado se comporta como un material altamente friccionante, aunque su origen se da a partir de suelos mayormente cohesivos. Debido a su uso en construcción, es común encontrar gran cantidad de desperdicio de este material, (por ejemplo para reformas de muros divisorios en construcciones residenciales se estima un desperdicio de ladrillo de 0,5 kg/m<sup>2</sup> por muro reformado. Constructora Concreto – Obra Finito Apartamentos) por lo cual para una obra donde se requiera mejorar específicamente el ángulo de fricción de un suelo que carezca de esta propiedad, se puede analizar la posibilidad de reciclar el material desperdiciado, mezclándolo con el suelo a tratar. Para el posible análisis de una mejora del suelo mediante la mezcla con el ladrillo, se procedió a preparar muestras con diferentes proporciones de mezcla suelo ladrillo y fueron sometidas a ensayos de corte directo, donde se obtuvieron variaciones significativas de las propiedades mecánicas arrojadas por el ensayo, cohesión y ángulo de fricción, indicando un aumento de ésta última de hasta un 50 % más que el ángulo de fricción que tenía el suelo que no había sido mezclado con ladrillo



# 1. PRELIMINARES

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia, y especialmente el departamento de Antioquia, por su ubicación geográfica, y en particular, su extensa zona montañosa, presentan una gran cantidad de problemas de estabilidad de los suelos, en especial de los taludes que allí se forman.

Un talud es la inclinación que presenta una masa, para este caso de suelo, con respecto a la horizontal. Son apoyados sobre la base de laderas de pendientes muy altas que se puedan formar de naturalmente (laderas) o por la intervención del hombre (cortes y terraplenes). Su inestabilidad se debe principalmente a varios tipos de fallas, que según Varnes (1978) pueden ser: caída, vuelco, deslizamiento, escurrimiento o flujo. (*Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Perú*)

Las fallas que se dan en los taludes principalmente se deben a esfuerzos cortantes internos en los suelos, debido a esto y gracias a los estudios realizados por C. A. Coulomb se pudo saber que la resistencia que presenta el suelo a esfuerzos cortantes se debe a dos propiedades mecánicas de éstos que son el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) principalmente en suelos granulares, y la cohesión (C) en suelos finos (*Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005*). Pero en los taludes de nuestra región es común encontrar suelos que tengan material granular y material fino por lo tanto su resistencia al corte depende de los dos parámetros mencionados anteriormente. Coulomb definió la fórmula para la resistencia a esfuerzos cortantes de la siguiente forma:

$$\tau = (\sigma) (\tan (\phi)) + C,$$

Dónde:

$\tau$ : Esfuerzo cortante en el suelo (kPa)

$\sigma$ : Esfuerzo normal aplicado a una masa de suelo (kPa)

$\phi$ : Ángulo de fricción interna del suelo (grados)

C: Cohesión (kPa)

Con este trabajo se pretende analizar si existe un posible mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo, ya que estos son un riesgo constante para las personas que habitan en proximidades a zonas de inestabilidad geológica, a partir de la reutilización de desechos de construcción como el cemento y elementos de mampostería como lo son los ladrillos que al ser triturados y al mezclarlos con el suelo, permiten mejorar la resistencia al corte de estos, por lo tanto generan una mayor estabilidad en los taludes, ya que al mejorar las propiedades mecánicas del suelo de los taludes, se obtiene una mayor estabilidad y se disminuyen las posibilidades de falla de estos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Se quieren utilizar residuos de construcción ya que los materiales como el ladrillo, el cemento y la cal se fabrican utilizando como materia prima algunos tipos de suelos y rocas, principalmente materiales limosos y arcillosos que se someten a tratamientos térmicos donde se elimina la humedad y dejan el producto final, que si se reutilizan en el mismo suelo, podría mejorar las propiedades mecánicas de éstos, ya que es una práctica muy común hoy en día la estabilización de los suelos por medio de cal y cemento.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas del suelo, a partir de la mezcla de éste con los desperdicios de ladrillo de arcilla cocida desechados en obras.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar mediante ensayos de granulometría, hidrómetro, límites de Atterberg, gravedad específica y compactación, las propiedades físicas del suelo a analizar.
- Definir, a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo, el cambio de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo analizado con diferentes proporciones de ladrillo triturado en su composición.
- Comparar las curvas de compresibilidad obtenidas a través de los ensayos de consolidación de las muestras para cada proporción utilizada.
- Establecer si el ladrillo triturado en las proporciones analizadas, podría ser un material que aporta a la resistencia mecánica del suelo, y por ende un residuo reutilizable en la industria de la construcción.

## **1.3 MARCO TEÓRICO.**

### **1.3.1 Proceso de elaboración del ladrillo.**

El proceso de elaboración de los ladrillos se basa en 4 pasos, que se explican a continuación:

#### **1.3.1.1. Extracción de la materia prima:**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

“La arcilla se obtiene de materiales cuyo contenido de feldespatos, sílice y otros metales garanticen la resistencia del material una vez terminado. Las diferentes mezclas de barro son humectadas para darle plasticidad al producto durante la formación de las piezas y le da resistencia durante el quemado. Dependiendo del producto, se añaden arcillas menos plásticas que ayudan a disminuir la plasticidad al barro y así lograr una formación óptima de las piezas de arcilla”. (Ladrillera INMACO, 2011)

#### **1.3.1.2 Preparación del barro:**

El barro se muele y cuando se reduce el tamaño de las partículas, se agrega agua para lograr su plasticidad y obtener la resistencia de una pasta. Lo que facilita el moldeo es el contenido de humedad en el barro, luego esta mezcla es refinada y homogeneizada. (Ladrillera INMACO, 2011)

#### **1.3.1.3 Conformación de la mezcla:**

La mezcla lista se fuerza a través de un molde que le da la forma al ladrillo, en la extrusión se extrae todo el aire del material para lograr una mayor resistencia u menor porosidad. El producto sale del molde en un bloque continuo que luego es cortado según las especificaciones que se necesiten. (Ladrillera INMACO, 2011)

#### **1.3.1.4. Secado:**

El secado se hace en cámaras donde se hace circular aire caliente. La combinación de la temperatura y el aire logran secar el ladrillo, ya que el aire caliente tiene una mayor capacidad de retención de humedad. El tiempo de secado varía dependiendo del grosor del tipo de material, del grosor de las paredes del producto, la temperatura ambiente y la humedad relativa. (Ladrillera INMACO, 2011)

### **1.3.2 Ensayo de corte directo (norma técnica ASTM D 3080).**

Es el método más usado y más antiguo en la investigación de la resistencia al corte de los suelos y se realiza utilizando una caja de acero llamada caja de corte. Esta caja consiste en un marco inferior fijo, y uno superior que puede deslizarse o desplazarse en dirección horizontal cuando se aplica la fuerza en el mismo sentido. La muestra se coloca entre dos piezas porosas que sirven de drenes durante la consolidación de los suelos saturados (cuando el ensayo es CD). Dichas piezas tienen como superficie de contacto con el suelo unos dientes de sierra que impiden el movimiento o deslizamiento entre las piedras y la muestra durante el ensayo. (TERZAGHI & PECK B., 1958)



**Ilustración 1. Caja de corte directo. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A.)**

En este esquema se muestra la caja de corte directo y su desplazamiento. A esta, se le aplica una fuerza ( $F$ ) necesaria para provocar el movimiento de la parte superior de la caja, por medio de esta se encuentra el esfuerzo cortante dividiéndolo por el área de la muestra (espécimen), y el desplazamiento por medio del cual se encuentra la deformación del suelo al dividirla por el diámetro de la muestra.

Antes de iniciar el ensayo, se aplica sobre la piedra superior una carga vertical que aplica una fuerza normal. Tanto la carga mencionada anteriormente como la de carga de corte, que se aplica después, originan un cambio en la relación de vacíos de la muestra. Si los vacíos están llenos de aire, este cambio se produce de forma rápida, pero si están saturados, la resistencia del agua a través del suelo produce que el cambio sea más lento.

Existen tres tipos de ensayos en este método, el primero se conoce como ensayo lento, en el cual la carga vertical y la fuerza de corte se aplican tan lentamente que la humedad del suelo tiene tiempo para adaptarse casi completamente al cambio de la tensión. Al segundo se le llama ensayo rápido, en donde el contenido de humedad de la muestra permanece prácticamente inalterado durante la aplicación de las cargas mencionadas en el ensayo lento. Por último, al tercer ensayo se le conoce como ensayo consolidado rápido, en el cual la consolidación total sobre la carga vertical es seguida por el corte con un contenido de humedad constante. Es importante aclarar que para este aparato, los ensayos rápidos y consolidados rápidos sólo se pueden hacer para muestras finas, es decir, limos y arcillas, pues los otros suelos son tan permeables, que hasta con un aumento muy rápido de tensiones, se origina un cambio en la muestra, aunque sea un cambio relativamente pequeño en la humedad; Los ensayos lentos si se pueden realizar para cualquier tipo de suelo. (TERZAGHI & PECK B., 1958)

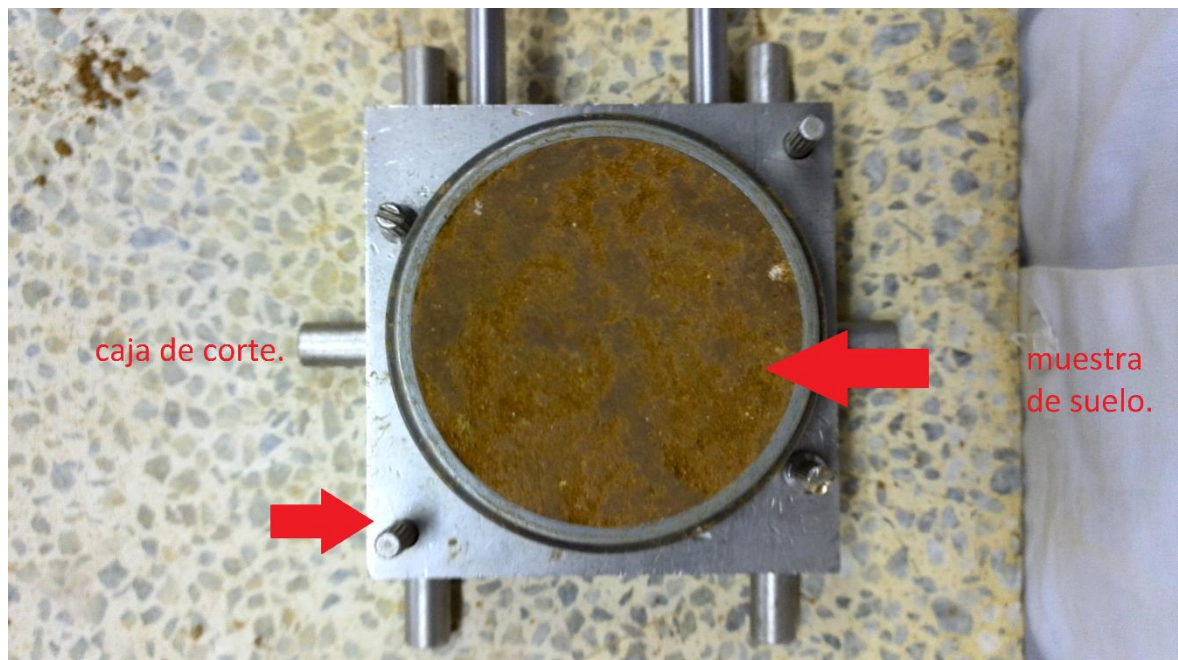
Un ensayo completo sobre un determinado suelo consiste en fallar tres muestras idénticas del mismo suelo o proporción de agregado bajo tres cargas verticales distintas ( $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$ ) aumentando gradualmente su valor, es decir, el primer ensayo se desarrolla bajo una

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

carga N1, el segundo se hace bajo una carga N2 que sería el doble de N1 y así sucesivamente hasta terminar con el tercer ensayo; Cada uno de estos ensayos se debe hacer con el suelo que pasa el tamiz número 4 para garantizar que el tamaño de grano del suelo sea el mismo en todos los ensayos y que se esté fallando la muestra del suelo como un todo y no una sola partícula. En este mismo sentido la velocidad del ensayo siempre debe ser constante, es decir, las tres cargas normales explicadas anteriormente deben ser falladas bajo las mismas condiciones de velocidad.

Existen 3 tipos de ensayos según las condiciones en las que se realicen, estos son:

1. Ensayo consolidado-drenado (CD) (Norma ASTM D 3080): “se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo, de modo que las presiones intersticiales sean nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante” (IGLESIAS Pérez , 2002)
2. Ensayo consolidado-no drenado (CU) (Norma ASTM D 3080): se permite el drenaje de la muestra durante la aplicación del esfuerzo vertical, por lo que al comenzar a aplicar el esfuerzo de corte la presión intersticial es nula, pero no durante su aplicación posterior. (IGLESIAS Pérez , 2002)
3. Ensayo no consolidado-no drenado (UU): No se permite el drenaje de la muestra, ni durante la aplicación de la carga vertical y tampoco en la aplicación del esfuerzo cortante. (IGLESIAS Pérez , 2002)



**Ilustración 2. Caja de corte estado inicial. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A.)**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 1.3.3 Parámetros de resistencia del suelo.

La resistencia del suelo, depende de las propiedades mecánicas del mismo, para efectos de este trabajo solo se van a definir la cohesión (C) y el ángulo de fricción interno ( $\phi$ ).

#### 1.3.3.1 Ángulo de fricción interno ( $\phi$ ).

También se le conoce como ángulo de frotamiento interno es un valor que depende del tamaño, forma, densidad de las partículas o de los granos y de la presión normal. Como los suelos gruesos tienen superficies de contacto y sus partículas son angulares, presentan una fricción entre ellas que se opone al movimiento.

Para encontrar el ángulo de fricción interno, se puede desarrollar el ensayo de corte directo o triaxial que entregan la información mas representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa del suelo al ser cargada. Donde el segundo consiste en colocar una muestra cilíndrica del suelo dentro de una membrana de goma que se introduce en una cámara especial y se aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzado ese estado de equilibrio, se aumenta la presión normal o axial, sin modificar la presión lateral aplicada hasta que se produzca la falla, y el primero fue explicado anteriormente. (Karl Terzaghi, 1958)

“El ensayo de corte directo en suelos granulares no se justifica ya que el límite inferior del ángulo es igual al ángulo de reposo de la misma”. (Villalaz, s. f.)

La ecuación de Coloumb es la que comunmente se utiliza para el análisis de los resultados después de los ensayos:

$$\tau = (\sigma) (\tan (\phi)) + C,$$

Dónde

$\tau$ : Esfuerzo cortante en el suelo (kPa)

$\sigma$ : Esfuerzo normal aplicado a una masa de suelo (kPa)

$\phi$ : Ángulo de fricción interna del suelo (grados)

C: Cohesión (kPa)

#### 1.3.3.2. Cohesión en el suelo (C):

La cohesión es la máxima resistencia del suelo a la tensión. Ésta resulta de la interacción de factores tales como la adherencia de la superficie de las partículas, la tensión capilar de las partículas de agua, las condiciones de drenaje y los esfuerzos del suelo.



En las arcillas, que tienen contacto entre las caras de sus partículas, se encuentra una cohesión real; en los suelos no plásticos de grano fino se puede dar una cohesión aparente cuando están en condiciones de saturación parcial. (Bourne, s.f.)

La cohesión en un suelo variará según su contenido de humedad, y se encuentra principalmente en los suelos finos (arcillas y limos), mientras que en los suelos granulares (**arenas y gravas**) esta propiedad es prácticamente nula.

Para encontrar su valor, se utiliza el ensayo de corte directo, que consta de un aparato que consiste en un marco interior que es fijo y uno superior que puede deslizarse en dirección horizontal. La muestra se coloca entre dos piedras porosas que sirven de drenes durante la consolidación de los suelos saturados. Antes de someter la muestra al corte, se aplica una presión vertical sobre la piedra superior y luego se somete a la falla. Éste tipo de ensayo es rápido, ya que el contenido de la muestra de humedad permanece prácticamente inalterado durante la aplicación de ambas cargas. La vertical y la de corte. (Karl Terzaghi, 1958)

#### **1.3.4. Ensayo de Granulometría por mallas (norma técnica ASTM D 422).**

Es un ensayo que permite la caracterización física del suelo y se emplea para determinar las proporciones de los tamaños de grano de una masa de suelo conocida y su práctica se desarrolla agrupando las muestras en rangos de tamaños. Esto se logra a partir de unas mallas con aberturas conocidas llamadas tamices. La muestra del suelo se pasa por estos elementos que son organizados de forma descendente desde el tamiz con la abertura más grande hasta el tamiz con la menor abertura, de modo que la masa de suelo retenida en un tamiz sea de tamaño de grano mayor que la masa retenida en el tamiz siguiente. (BOWLES, 1981)

Los tamices son hechos de malla de alambre de acero con aberturas de forma rectangular que varían de tamaño desde 101,6 mm, que corresponde a partículas gruesas, hasta el tamiz número 400 que tiene una abertura de 0.038 mm aproximadamente que corresponde a las partículas finas. (BOWLES, 1981)

A continuación se muestra una curva típica granulométrica en la que se muestran, las tendencias de los puntos dependiendo del tipo de suelo y de la uniformidad del tamaño de grano de las muestras, es decir, si está bien gradado o mal gradado.

En la ilustración número 3 se puede evidenciar que el suelo de la curva B es un suelo granular (grueso), mientras que el suelo de la curva A es un suelo cohesivo (fino).

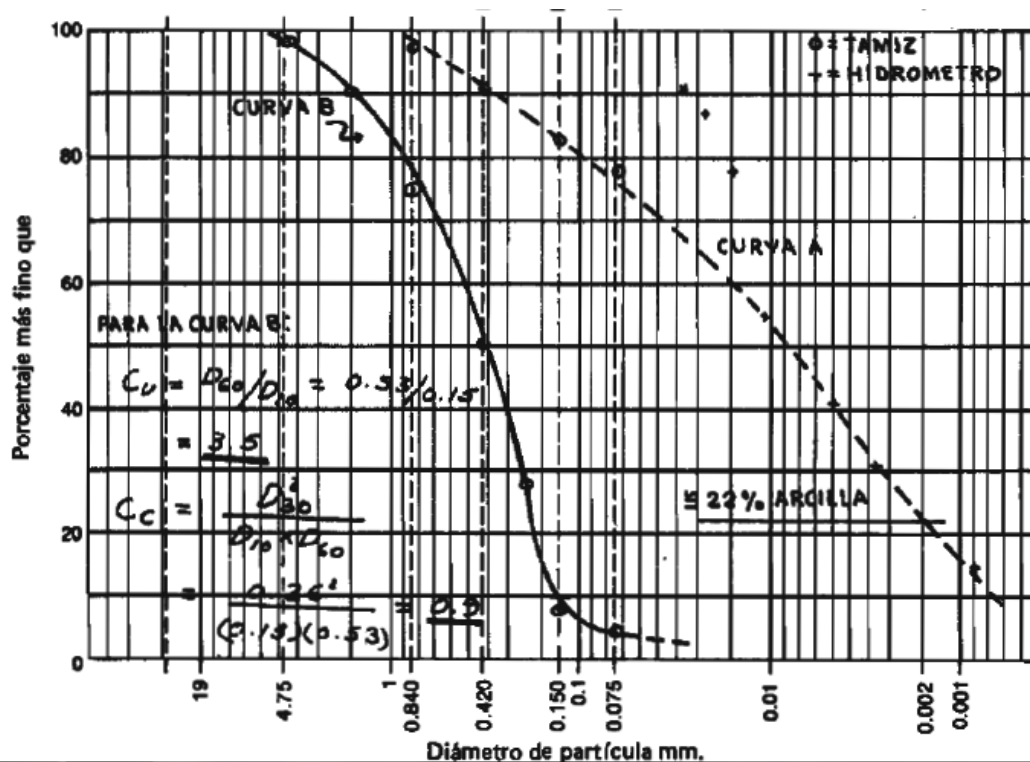


Ilustración 3. Curva granulométrica típica. (BOWLES, 1981)

### 1.3.5. Ensayo por Hidrómetro (norma técnica ASTM D 422).

Este método se utiliza para obtener un estimado de la distribución granulométrica de una muestra de suelo de sus partículas finas, es decir, partículas que pasan el tamiz 200 y su resultado se presenta por medio de una gráfica semilogarítmica de porcentaje de material más fino (eje X) contra el diámetro de los granos (eje Y) y puede combinarse con la gráfica que se obtiene del análisis granulométrico presentado en el numeral anterior en el cual se grafica la fracción gruesa de la muestra del suelo.

Su objetivo principal es obtener el porcentaje de la muestra del suelo más fino (porcentaje de arcilla) y su comportamiento depende principalmente del tipo y porcentaje de arcilla presente más que del tamaño de los granos.

### 1.3.6 Teoría de consolidación.

La consolidación es un proceso mediante el cual se reduce el volumen de una masa de suelo debido a una carga aplicada sobre éste, debido a que ésta carga que se ejerce sobre él hace que haya una disminución de la relación de vacíos de la muestra, a medida que avanza el tiempo de aplicación de la carga. La consolidación es un proceso que fue observado, estudiado y desarrollado mediante pruebas, por primera vez por el profesor Karl



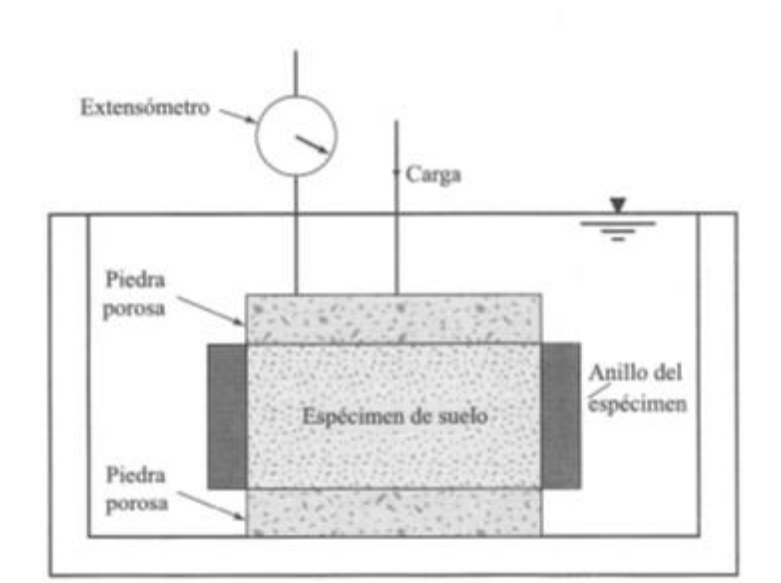
Terzaghi, en la cual se puede obtener una relación entre la carga aplicada, el tiempo y la relación de vacíos de una muestra de suelo determinada.

El instrumento utilizado en el laboratorio para la prueba de consolidación es el consolidómetro, a través del cual se aplican cargas que se van incrementando gradualmente y en un lapso de tiempo suficiente como para que la velocidad de aplicación de la carga no sea un factor determinante en los resultados que se obtengan a partir del ensayo.

En una muestra de suelo confinada lateralmente por un anillo metálico, que impide que la carga que recibe la no sea transmitida a algún material con el que pueda tener interacción a su alrededor, se aplica una carga vertical determinada, que hace que con el paso del tiempo, la muestra disminuya su volumen, debido a que ésta se deforma en la misma dirección de aplicación de la carga ya que se expulsa a través de los conductos presentes en la muestra, el exceso de agua y aire presentes en la muestra, teniendo por consiguiente y a partir de lo mencionado anteriormente, una muestra con una relación de vacíos menor que la inicial y por ende, una densidad mayor de la muestra.

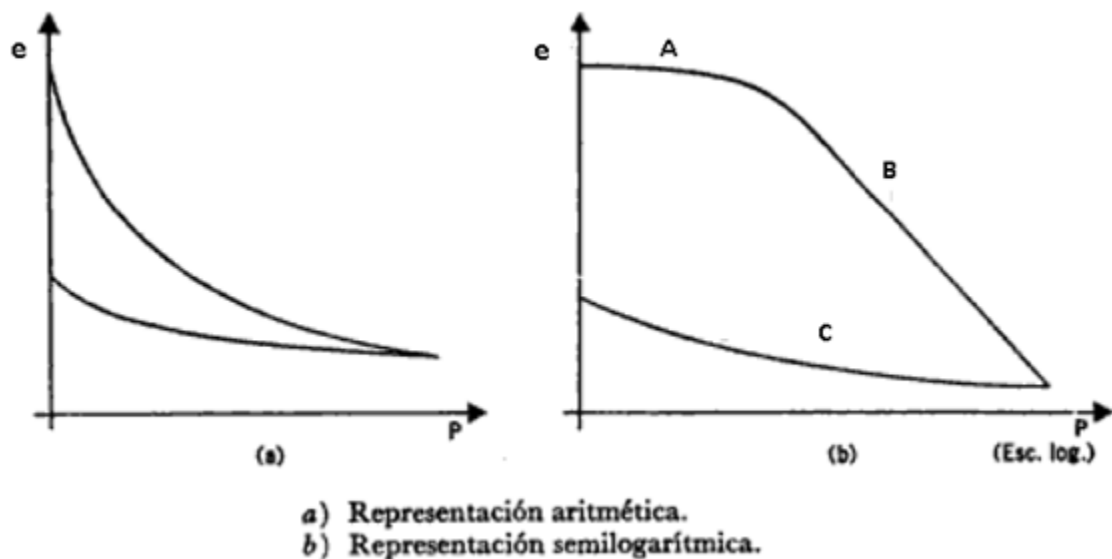
Una vez hecho el procedimiento anterior y después de obtener la deformación máxima de la muestra para la carga aplicada, se repite el procedimiento en el consolidómetro de nuevo con una nueva carga y una nueva muestra, debido a que las propiedades del suelo analizado no son las mismas, ya que su relación de vacíos es menor, y sus partículas están acomodadas de tal manera que internamente pueden transmitirse mejor la carga que se aplica. El consolidómetro cuenta con un instrumento llamado extensómetro el cual mide la deformación de la muestra con buena precisión y se pueden tomar los datos que él brinda ya que tiene forma de reloj y a través de lecturas establecidas para ello.

Para transmitir la carga uniformemente el procedimiento incluye la utilización de piedras porosas que cumplen la doble función de transferir la carga aplicada, y al mismo tiempo dejar fluir los vacíos que salen de la muestra que se ensaya.



**Ilustración 4. Esquema de ensayo de consolidación (DAS, 2001)**

Una vez obtenida la máxima deformación de la muestra y para cada ensayo, se puede construir a partir de los datos obtenidos una curva, conocida como la curva de compresibilidad del suelo, la cual puede ser en escala natural, ó en escala logarítmica, en la cual intervienen la relación de vacíos y la carga aplicada.



**Ilustración 5. Curva de compresibilidad del suelo. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005)**

En la curva (b) se pueden observar tres tramos:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En el tramo A, ocurre una pequeña deformación del suelo debido a que probablemente la carga aplicada ya había sido aplicada anteriormente al suelo y posteriormente antes de empalmar con el tramo B hay una curvatura que refleja una deformación rápida del suelo al aplicar la carga debido a una deformación elástica inicial.

En el tramo B comienza una deformación más importante debido a la expulsión de los vacíos de la muestra, la asimilación de la carga y un asentamiento mayor de la muestra, a este tramo se le conoce como el tramo de compresibilidad virgen debido a que muestra un comportamiento lineal elástico y generalmente el suelo no había sido sometido antes al esfuerzo aplicado.

El tramo A y B representan una parte del fenómeno de consolidación denominado consolidación primaria y se considera que en el proceso de consolidación corresponde al 90 % de éste.

El tramo C presenta una curva donde la relación de vacíos aumenta debido a que se le quita la carga aplicada al suelo y absorbe vacíos de tal manera que aumenta su contenido de agua y aire, pero nunca alcanza de nuevo la relación de vacíos antes de ser sometido al ensayo.

El tramo C es una curva de expansión y la pendiente media de este tramo de descarga es llamada también índice de expansión o  $C_s$ .

A partir de los datos de deformación, tiempo y carga aplicada en el esfuerzo de consolidación, se pueden obtener gráficas que reflejan las relaciones que existen entre éstos durante el ensayo y así mismo encontrar algunos parámetros propios del suelo que se analice por medio del ensayo. (TERZAGUI, PECK, & MESRI, 1996)

La gráfica que relaciona el cambio de la relación de vacíos y el esfuerzo aplicado a la muestra de suelo se denomina curva de compresibilidad y se puede graficar en escala natural, mediante la cual se encuentra la pendiente del tramo lineal de la gráfica, a ésta pendiente se conoce con el nombre de coeficiente de compresibilidad, y mientras su valor aumenta, quiere decir que la curva tiene una mayor pendiente, lo que indica un suelo altamente compresible. A continuación se define mediante la ecuación:

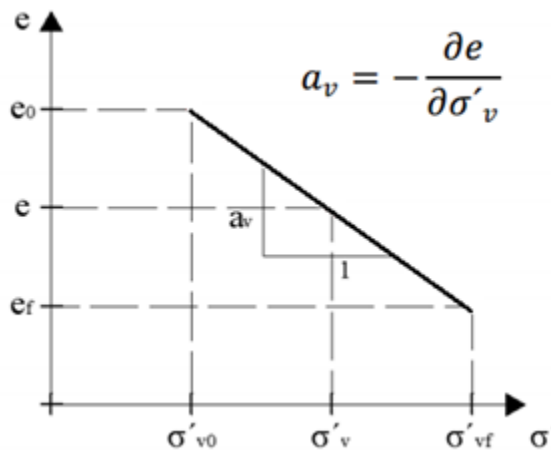
$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P}$$

Donde,

$a_v$ : Coeficiente de compresibilidad.

$\Delta e$ : Cambio de la relación de vacíos.

$\Delta P$ : Cambio de esfuerzo aplicado.



**Ilustración 6. Curva de compresibilidad. (Universidad Nacional de Rosario, s.f.)**

Utilizando coeficiente de compresibilidad se desprenden otros parámetros asociados, tal como lo es el coeficiente de compresibilidad volumétrica el cual relaciona el coeficiente de compresibilidad con la relación de vacíos inicial antes de que la muestra se someta al ensayo, así:

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

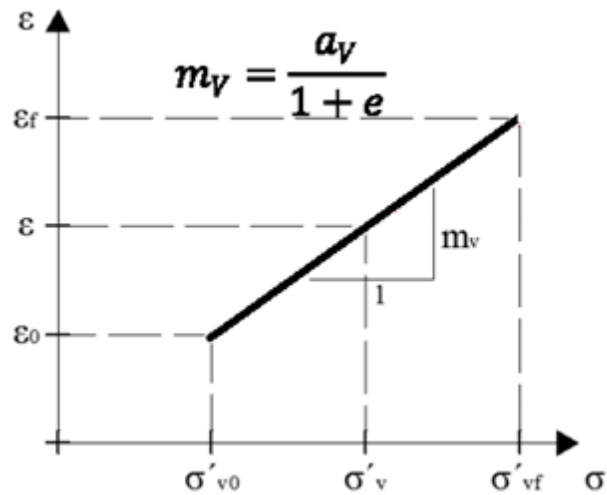
Donde,

$m_v$ : Coeficiente de compresibilidad volumétrica

$a_v$ : Coeficiente de compresibilidad.

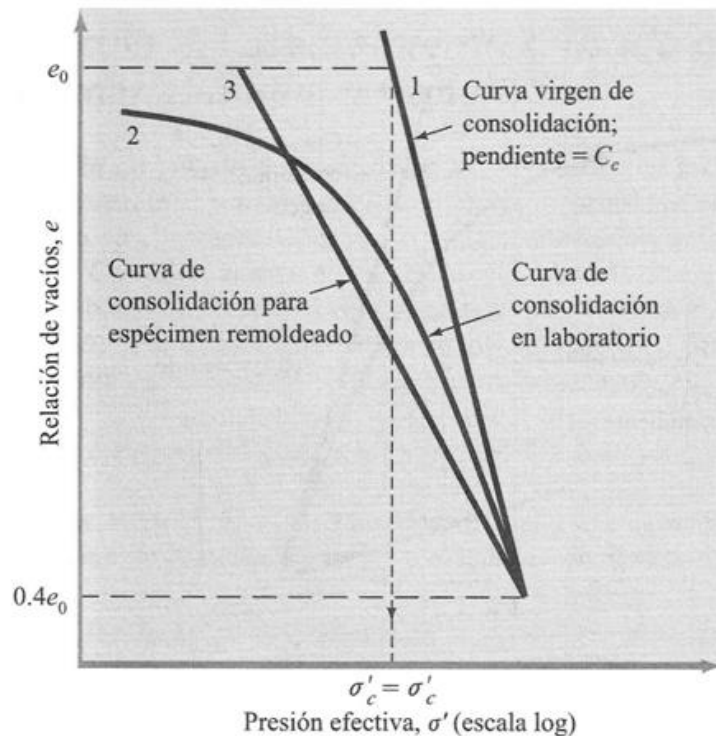
$e_0$ : Relación de vacíos inicial.

El coeficiente de compresibilidad volumétrica también refleja la pendiente de la curva deformación unitaria vs esfuerzo aplicado, así:



**Ilustración 7. Gráfica de esfuerzo deformación. (Universidad Nacional de Rosario, s.f.)**

Por último y tan importante como los parámetros mencionados, se obtiene a partir de la curva de compresibilidad semilogarítmica donde el eje de las ordenadas en escala natural es la relación de vacíos y el eje de las abscisas lo ocupa el esfuerzo aplicado en escala logarítmica, el índice de compresión del suelo analizado, de la siguiente manera:



**Ilustración 8. Gráfica de compresibilidad semilogarítmica. (DAS, 2001)**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

Donde,

Cc: Índice de compresión del suelo.

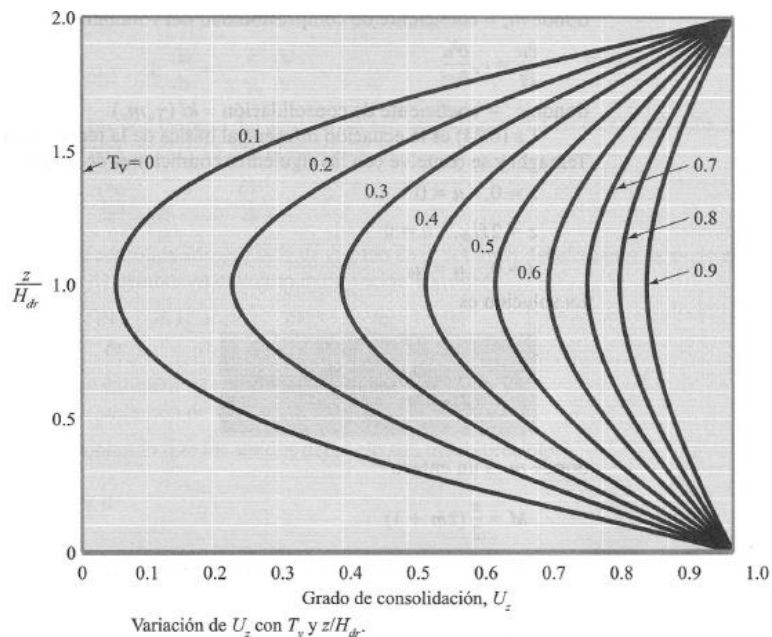
ei: Relación de vacíos.

Pi: Esfuerzo en la muestra.

Los parámetros mencionados anteriormente tienen en común que a medida que sus valores son mayores, también aumenta la compresibilidad del suelo, es decir que para una carga aplicada dada, un valor alto de éstos significa que el suelo va a tener mayores deformaciones por disminución de su relación de vacíos. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005)

### 1.3.6.1. Velocidad de consolidación.

Debido a que el tiempo es una de las variables más importantes en el proceso de consolidación, Terzaghi estableció parámetros para encontrar los asentamientos que pueda tener un suelo para cada carga aplicada, para esto creó relaciones entre parámetros como el factor tiempo ( $T_v$ ) que corresponde a un valor que depende del grado de consolidación, expresado en porcentaje y dado como  $U(\%)$  y el tipo de drenaje y espesor del suelo que se ensaya. A continuación se muestra la gráfica donde se hallan las relaciones de éstos coeficientes que posteriormente se utilizan para determinar los asentamientos mencionados.



**Ilustración 9. Gráfica de relación de  $U_z$  con  $T_v$ . (DAS, 2001)**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Una vez obtenido el valor de  $T_v$  para el grado de consolidación deseado se puede utilizar éste valor para encontrar el coeficiente de consolidación del suelo  $C_v$ , utilizando la ecuación:

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t_u}$$

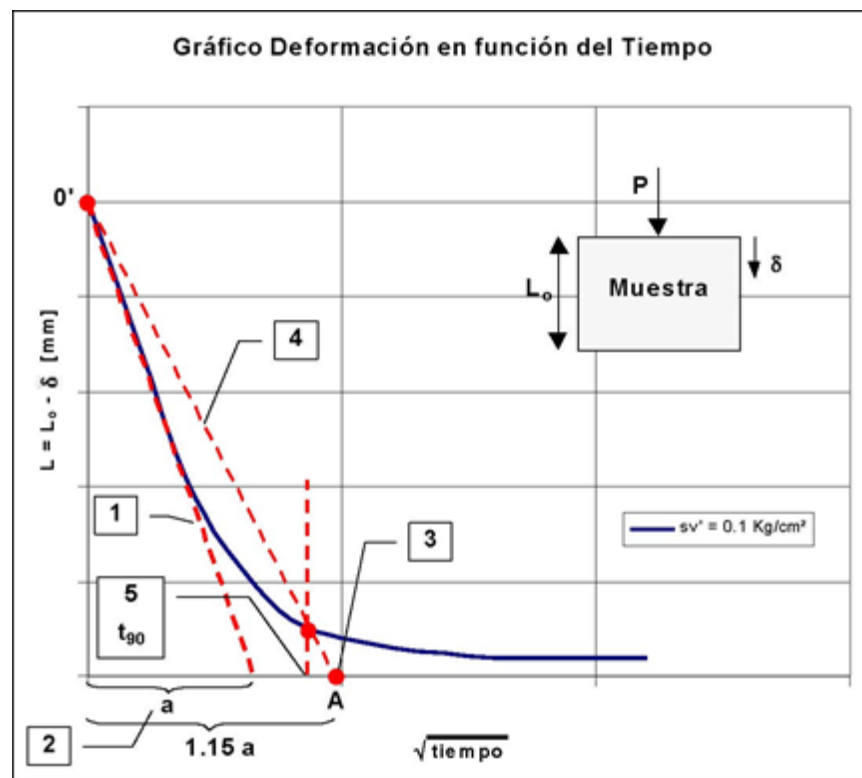
Donde,

$T_v$ : Es el factor tiempo para el grado de consolidación  $U(\%)$

$H$ : Recorrido máximo que debe hacer el agua para ser drenada (espesor de la muestra)

$t_u$ : Tiempo (generalmente en minutos) para alcanzar el grado de consolidación  $U(\%)$

Para encontrar el tiempo para un porcentaje de consolidación dado existe un método gráfico propuesto por D.W. Taylor que se explica a continuación:



**Ilustración 10. Gráfica de ensayo de consolidación. (Universidad de Chile, 2007)**

Del gráfico deformación vs raíz cuadrada del tiempo:

Trazar una línea recta de tendencia de los primeros puntos del gráfico, que corte el eje de las abscisas.

- La intersección entre la recta definida en el anterior paso con el eje de las abscisas, define una distancia  $A$ .
- Se define en el eje de las abscisas el punto  $A$  a una distancia del origen en  $1,15 \cdot A$
- Se une el punto  $0'$  y  $A$ .

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- La intersección de esta recta con la curva define el valor  $t_{90}$  en el eje de las abscisas.
- Con este valor de  $t_{90}$  calcular el coeficiente de consolidación con la fórmula:

$$C_v = \frac{T_v(U = 90\%) \cdot H^2}{t_{90}}$$

Donde:

$T_v$  (factor tiempo) para  $(U = 90\%) = 0.848$

$H$  = recorrido del agua a drenar. (Universidad de Chile, 2007)

Una vez obtenidos los valores anteriores se puede encontrar la permeabilidad ( $k$ ) del suelo consolidado a través de la ecuación:

$$K = C_v \cdot \gamma_w \cdot m_v$$

Donde,

$K$ : Permeabilidad del suelo (Generalmente en mm/año)

$C_v$ : Coeficiente de consolidación ( $\text{mm}^2/\text{minuto}$ )

$\gamma_w$ : Peso específico del agua ( $9,8 \text{ kN/m}^3$ )

$m_v$ : Coeficiente de compresibilidad volumétrica ( $\text{m}^2/\text{kN}$ )

## 1.4 ANTECEDENTES

Es una práctica común hoy en día la estabilización química de los suelos a través de cal y cemento ya que con éstos, en suelos principalmente arcillas expansivas, se mejoran sus propiedades a través de la floculación del material de suelo. Esta técnica fue desarrollada en sus inicios (siglo XX) principalmente en civilizaciones pequeñas y luego este procedimiento tuvo que esperar hasta la segunda guerra mundial para que su uso fuera masivo.

Es tanta la mejora que se le ha dado a estos procedimientos de estabilización, que se pueden encontrar hasta manuales de uso y aplicación de cal y cemento en éstos suelos en el "Manual de estabilización de Suelos con Cemento o Cal". (ANTER, s.f.)

En cuanto a la mezcla suelo – cemento sus estudios comenzaron en Inglaterra entre 1920 y 1930. En 1917 Brooke Bradley empleó esta mezcla para estabilizar los suelos en una carretera, obteniendo gran éxito, pero la técnica no fue usada posteriormente. Durante el mismo año. Pero en Estados Unidos se llevaron a cabo ensayos en diferentes tramos de vías y posteriormente se extendió su uso gracias a la ayuda de Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de Carolina del Sur. (Federación interoamericana de cemento (FICEM))

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



El uso principal que se le da a los residuos de ladrillos se evidencia en vías internas de proyectos, es decir, en carretables internos en los que se necesite esparcir escombros para acondicionar estas vías y se puedan desarrollar actividades como movimientos de tierra.

En este mismo sentido, los cerámicos también son utilizados en el aligeramiento de losas cumpliendo una función de molde de las secciones de estos elementos, sin embargo el ladrillo que se utiliza como aligerante debe cumplir con unas características para que no se le haga daño a la resistencia del concreto que está especificado, estas características son de orden geométrico pues debe haber compatibilidad entre las dimensiones del aligerante y de la losa para garantizar su unión y de esta manera garantizar el comportamiento establecido en los diseños a cortante, flexión y deformación. (ANAPE (Asociación Nacional de Polietileno Expandido), s.f.)

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

Dentro de los tratamientos para mejorar la estabilidad de taludes que existen actualmente y que se emplean en Antioquia se encuentra el *soil nailing* que fue empleado en el talud a la altura del km 6 de la vía Las Palmas y consiste en reforzar el suelo mediante la instalación de cables o torones de acero a las que se le inyecta lechada de cemento que se desarrolla desde la parte más alta del talud hasta la parte más baja desarrollando una serie de anclajes pasivos que cambian el plano de falla del suelo, generando una estabilidad mayor. (*Obras urbanas*, 2009).

A continuación se muestra una ilustración de lo que es el soil nailing y su apariencia en la obra Milla de Oro, que fue de donde se sacó el suelo.



**Ilustración 11. Imagen de soil nailling. (Foto tomada en la obra Milla de Oro, cortesía S.G.H).**

En esta imagen se puede observar los torones de acero que salen de los dados que se vacian para poder realizar el proceso de tensionamiento de estos. Los cables alcanzan longitudes de hasta 26 metros con una separación horizontal de 3 metros que es la distancia que hay entre las pilas de contención que allí se evidencian; La separación vertical es de 2 metros. Para este caso específico, la finalidad de estos anclajes es impedir el movimiento y la deformación de las pilas, amarrándolas contra el terreno, además las pilas están amarradas por una viga cabezal que obliga a las pilas trabajar conjuntamente y no cada una por separado. En total los anclajes se desarrollaron en 5 niveles distintos (cotas).

Otra técnica utilizada en este siglo es el drenaje de los taludes que consiste en introducir en el talud tubos de PVC para que el agua que penetra al material del suelo sea captada por estos tubos y se pueda conducir hacia el exterior, también se utiliza la elaboración de canales para drenar el agua superficial de los taludes. Estas dos técnicas se utilizan para impedir que el talud se sature y gane peso y así permitir que el talud sea estable por sí solo; pero lamentablemente muchas veces estas tuberías y canales no son suficientes en temporadas de invierno y los taludes de Antioquia se sobresaturan quedando una situación de inestabilidad que provoca el deslizamiento de estos.

Por estas razones se quiere analizar si por medio de los materiales anteriormente mencionados (ladrillo triturado) se puede lograr un mejoramiento en las propiedades de los suelos antioqueños, específicamente en suelos que tengan ambas propiedades (cohesión y ángulo de fricción) como una arena limosa, que es la que se va estudiar en este trabajo, y de esta manera mejorar sus propiedades teniendo en cuenta que los costos se reducirían de manera importante pues se estaría utilizando material desechado de obras de construcción que es mucho más barato que las barras de acero que se utilizan en el soil nailing, y remplazar las técnicas que se utilizan actualmente.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## 2. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó una investigación sobre el tema de materiales usados en la mejora de las propiedades mecánicas del suelo, el modo de empleo, la manera en la que se elaboraron los ensayos y por último se observaron las conclusiones que estos proyectos obtuvieron.

Después de tener la revisión bibliográfica, se hizo la toma de las muestras del suelo en costales (aproximadamente 150 kg) en el municipio de Medellín, específicamente en el barrio el Poblado en la obra Milla de Oro. Se escogió este lugar porque ésta es una región que presenta en su mayoría condición de inestabilidad por ser suelos depositados por corrientes de agua y por efectos de gravedad, acto seguido la muestra fue llevada al laboratorio.

Siguiendo esta línea se consiguieron los ladrillos de mampostería a través de la obra Finito Apartamentos ubicada en el sector de Castropol y luego se trituraron manualmente con la ayuda de un mazo y luego se procedió a su análisis granulométrico, después de esto se realizó la mezcla del material triturado en estado fino y las muestras tomadas que ya estaban en laboratorio de suelos de la Escuela de Ingeniería de Antioquia de la sede de Zúñiga. Para este paso se necesitó la cantidad de suelo especificado en el párrafo anterior, pues se desarrolló un análisis variando el porcentaje del material de desecho elaborando las mezclas con diferentes proporciones para ver cómo se podía lograr una mejor adherencia entre las partículas del suelo y del ladrillo triturado.

Se hicieron 5 cilindros para cada proporción de ladrillo en el suelo y las proporciones fueron de 0, 4, 8 y 12 %, en los que las muestras de 0 % fueron las muestras testigo que solo estaban compuestas por suelo. De cada uno de esos cilindros se sacaron 3 ensayos de corte directo UU (no consolidado, no drenado) para un total de 60 ensayos.

Luego de tener todas los ensayos realizados, se compararon los resultados de los ensayos de la muestra testigo con los ensayos de las diferentes proporciones de ladrillo triturado para determinar los cambios que se generaron a partir de la incursión del material en el suelo.

### 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Luego de haber extraído la muestra del lugar anteriormente mencionado, y que se muestra en la ilustración número 4, se llevó en costales al laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Antioquia en la sede de Zúñiga, lugar en el cual se procedió con la realización de los ensayos de laboratorio que se mencionan a continuación.



**Ilustración 12. Lugar de muestreo. (Foto tomada de la obra Milla de Oro, cortesía de S.G.H)**

**Tabla 1. Perfiles típicos que caracterizan el barrio el Poblado parte baja (Alcaldía de Medellín, 2011)**

ZONA 14	PERFIL No.	TIPO DE SUELO	VARIACION ESPESORES (m)	OBSERVACIONES
<b>POBLADO - PARTE BAJA</b>	1	Qff	10-30	
		Qal	10-20	
		KaM		
	2	Qff	2-25	
		Qfm	2-25	
		Qal	10	
		KaM		
	3	Qfr	5	
		Qff	10	
		Qal	15	
		KaM		
	4	Qfr	5	
		Qff	5	
		Qfm	10	
		Qal	10	
		KaM		

Como se mencionó anteriormente la muestra de suelo fue sacada del barrio el Poblado parte baja, en la tabla 1 se muestra el tipo de suelo que se encuentra en este sector. Según esta tabla hay 4 perfiles diferentes de suelos en este sector que se explican de la siguiente manera. En el perfil 1 se encuentran flujos de escombros y lodos frescos, depósitos aluviales y anfibolitas en la margen derecha, para el perfil 2 se tiene un suelo de las mismas características del perfil anterior con flujos de escombros y lodos maduros, para el perfil 3 se agrega además de los tipos de suelos ya mencionados flujos de escombros y lodos recientes, por último para el perfil número 4 se encuentra que el suelo tiene a distintas profundidades flujos de escombros y lodos recientes, lodos frescos, lodos maduros y depósitos aluviales.

### **3.1 GRANULOMETRÍA POR MALLAS (NORMA TÉCNICA ASTM D 422).**

De los costales en los que se almacenaba la muestra de suelo, se separó una proporción que fue disgregada, homogenizada y cuarteada. En la ilustración número 5 se muestra el cuarteo de una de las muestras para este procedimiento.





**Ilustración 13. Cuarteo de muestra de suelo. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A).**

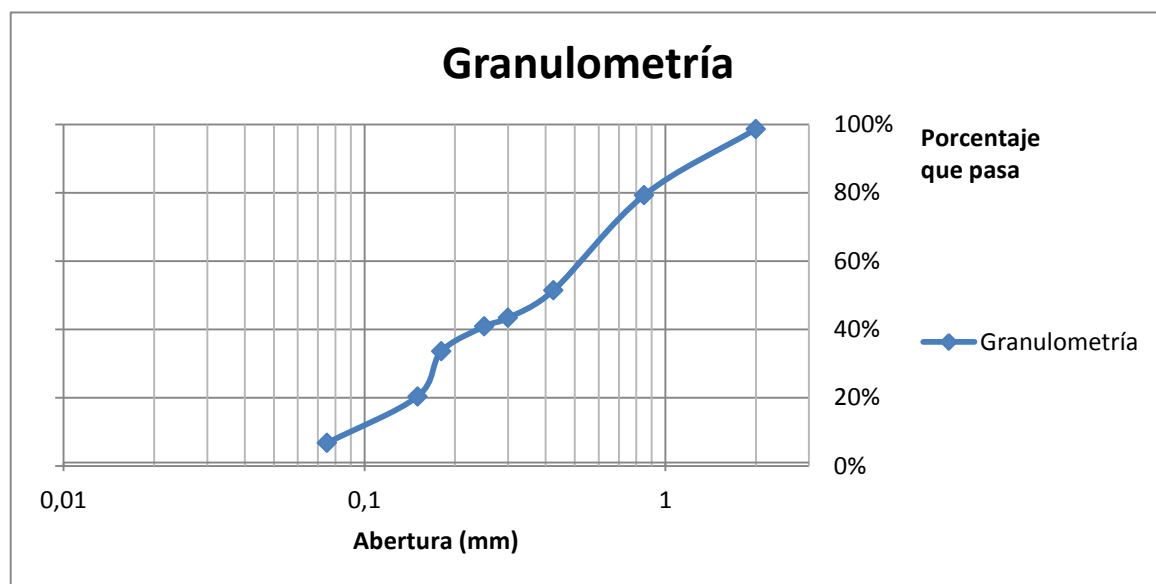
Después de ser cuarteada, se escogieron 2 cuartos de la muestra para realizarles el proceso de tamizaje para la granulometría por mallas y otra para realizarle el proceso de granulometría por hidrómetro que se explica luego de éste.

Al realizarle el proceso de tamizaje se obtienen los siguientes resultados. Es importante aclarar que para este proceso se lavó todo el material que quedó retenido en la malla 200 y luego se realizó el proceso de tamizaje por las mallas que se muestran en la tabla 1. Es importante aclarar que este procedimiento se desarrolló solo para la fracción gruesa, la fracción fina no fue tomada en cuenta.

**Tabla 2. Resultados de granulometría por mallas fracción gruesa.**

Número malla	Abertura (mm)	Mas retenida (g)	Masa pasa (g)	% Pasa
10	2	9,5	687,6	98,6%
20	0,85	135,1	552,5	79,3%
40	0,425	194	358,5	51,4%
50	0,3	56,3	302,2	43,4%
60	0,25	17,5	284,7	40,8%
80	0,18	50,8	233,9	33,6%
100	0,15	92,1	141,8	20,3%
200	0,075	95	46,8	6,7%
Fondo		46,8		

Con los resultados obtenidos en la tabla número 2, se procede a graficar la curva granulométrica, la cual lleva una escala logarítmica en el eje x que corresponde a la abertura en milímetros (mm) de cada uno de los tamices.

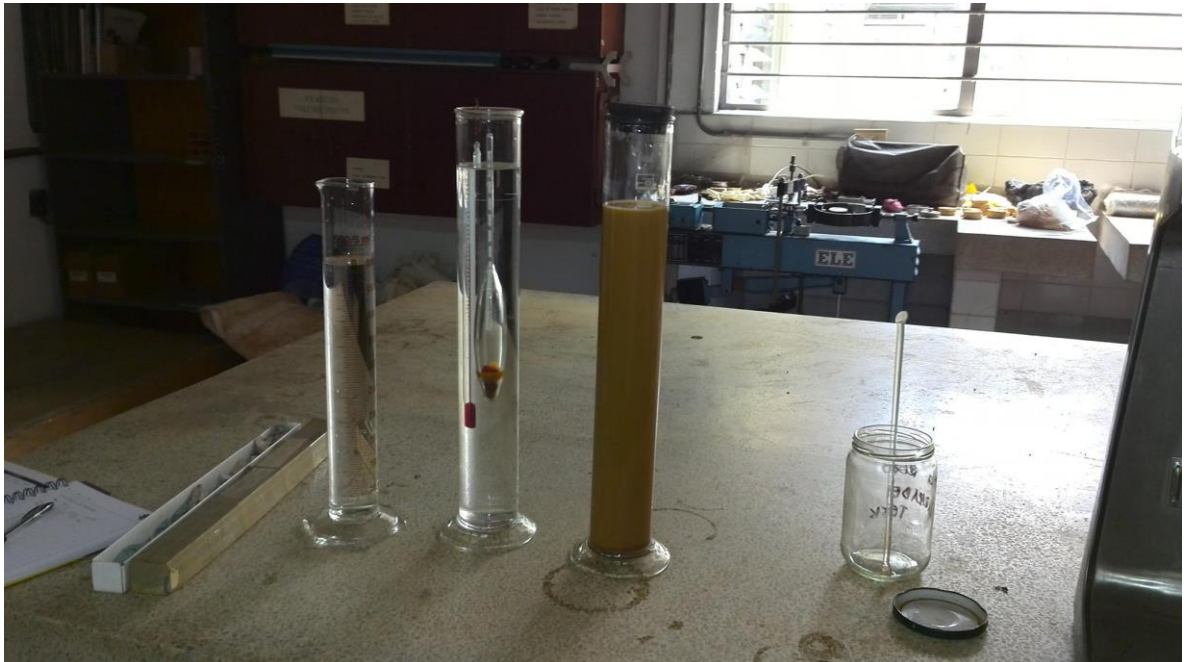


**Ilustración 14. Gráfica de curva granulométrica fracción gruesa.**

### 3.2 GRANULOMETRÍA POR HIDRÓMETRO (NORMA TÉCNICA: ASTM D 422).

Para la prueba por hidrómetro de tomaron 50 g de suelo que pasaron por el tamiz número 200. Esta muestra fue secada al horno y se depositó en un recipiente el cual fue preparado con 125 ml de agua con floculante y se dejó reposar 24 horas para posteriormente realizar el ensayo.

En la ilustración 8, se muestra un esquema del ensayo realizado.



**Ilustración 15. Prueba de hidrómetro. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A).**

El procedimiento del ensayo consistió en medir a partir de un determinado tiempo la temperatura del ensayo y la corrección de ceros en la probeta que se evidencia en medio de la imagen y luego medir el nivel en el que se sumergía el hidrómetro en la probeta de la derecha que era donde se encontraba la muestra con el floculante, la probeta de la izquierda solo era necesaria para el lavado del hidrómetro. Después de 24 horas, se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla número 4.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Tabla 3. Datos obtenidos de la prueba por hidrómetro**

tiempo	$\Delta Lh$ (cm)	Temperatura (°C)	Ra (mm)
30"	1,5	21,4	53
1'	1,5	21,4	52
2'	2,5	21,4	49
4'	2,5	21,4	45
8'	2,5	21,5	41,5
15'	2,5	21,5	37
30'	2,0	21,8	33
1h	2,0	22,2	30
2h	2,0	22,6	26,5
4h	2,0	23	23,5
24h	2,5	21,2	7,5

Con estos datos se calculó el diámetro de las partículas por medio de la siguiente ecuación.

$$D = K \times \sqrt{\frac{L}{t}}$$

En donde:

L: Profundidad efectiva de la lectura del hidrómetro corregida solamente por el menisco.

K: Constante que depende de la temperatura y del peso específico del suelo.

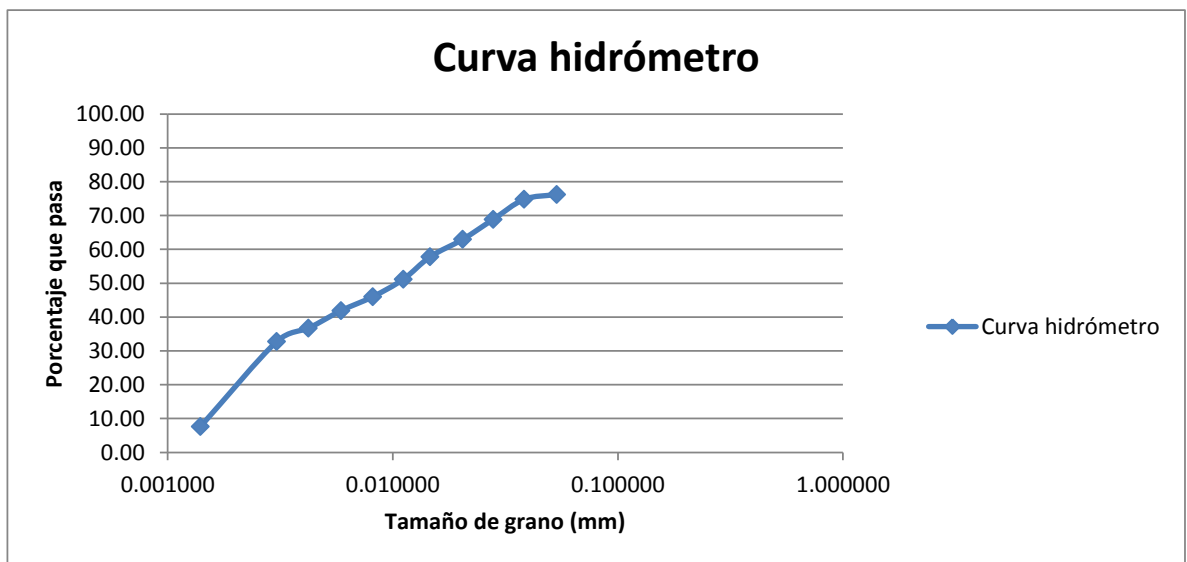
t: Tiempo en minutos en el cual se toman las lecturas.

Aplicando esta fórmula se obtuvo la siguiente tabla.

**Tabla 4. Resultados de tamaño de grano.**

Temperatura (°C)	tiempo (minutos)	Ra (mm)	$\Delta Lh$ (cm)	Ct	Rc	por menisco	L	L/t	K	% mas fino	D
21.4	0.5	53	1.5	0.2	51.7	53.5	7.6	15.200	0.0137	103.40%	0.053412433
21.4	1	52	1.5	0.2	50.7	52.5	7.8	7.800	0.0137	101.40%	0.038262018
21.4	2	49	2.5	0.2	46.7	49.5	8.3	4.150	0.0137	93.40%	0.027909022
21.4	4	45	2.5	0.2	42.7	45.5	8.9	2.225	0.0137	85.40%	0.020435514
21.5	8	41.5	2.5	0.2	39.2	42	9.4	1.175	0.0135	78.40%	0.014633651
21.5	15	37	2.5	0.2	34.7	37.5	10.2	0.680	0.0135	69.40%	0.011132385
21.8	30	33	2.0	0.2	31.2	33.5	10.9	0.363	0.0135	62.40%	0.008137414
22.2	60	30	2.0	0.4	28.4	30.5	11.4	0.190	0.0135	56.80%	0.005884514
22.6	120	26.5	2.0	0.4	24.9	27	11.9	0.099	0.0134	49.80%	0.004219759
23	240	23.5	2.0	0.7	22.2	24	12.4	0.052	0.0134	44.40%	0.003045861
21.2	1440	7.5	2.5	0.2	5.2	8	15	0.010	0.0137	10.40%	0.00139825

Por medio de la tabla anterior se obtiene la ilustración número 8, en donde se grafica el diámetro de las partículas versus el porcentaje que pasa.



**Ilustración 16. Curva por hidrómetro.**

### 3.3 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA PARA EL LADRILLO.

Para el material triturado se hizo una prueba de tamizaje para observar de qué tamaño quedaban las partículas del ladrillo, en total, este procedimiento se repitió una vez para cada muestra. En total se sacaron 4 muestras.

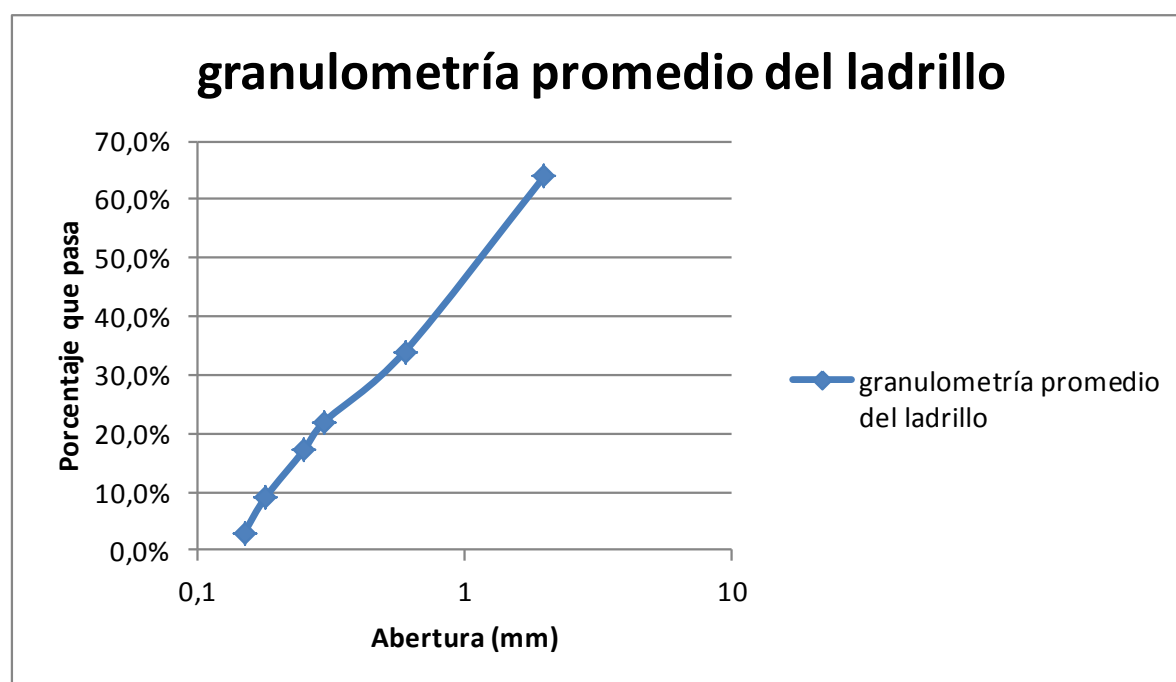
A continuación, en la tabla5, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**Tabla 5. Resultados de tamizaje para el ladrillo.**

Número de malla (g)	Abertura malla (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Pasa E1	% Pasa E2	% Pasa E3	% Pasa E4	promedio % pasan
10	2	167,7	33,4%	67%	60%	68%	63%	64%
30	0,6	151,9	30,3%	36%	30%	37%	33%	34%
50	0,3	64,2	12,8%	23%	19%	24%	21%	22%
60	0,25	24,3	4,8%	19%	14%	18%	17%	17%
80	0,18	44,4	8,9%	10%	6%	10%	11%	9%
100	0,15	33,3	6,6%	3%	2%	5%	3%	3%
Fondo		15,7	3,1%					

A partir de los resultados de la tabla anterior, se grafican las curvas que se presentan en la siguiente ilustración.



**Ilustración 17. Gráfica de tamizaje para el ladrillo.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 3.4 ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA (NORMA TÉCNICA ASTM C 127).

Para el ensayo de gravedad específica se tomó una cantidad aleatoria de suelo que pasó por el tamiz número 4, luego para la elaboración de este ensayo se utilizaron dos picnómetros (números 3 y 7) que arrojaron los resultados que se evidencia en la siguiente tabla.

**Tabla 6. Resultados de gravedad específica.**

Gravedad específica		
Picnometro	3	7
M. inicial	275,3	527,4
M.+ suelo	292	549
Suelo	16,7	21,6
M. pic.+ suelo	356,2	660,7
Temperatura	22°	22.°
M. pic	345,8	647,3
Suelo desaireado	10,4	13,4
Dif. Suelo	6,3	8,2
Gs	2,65	2,63
Gs promedio	2,64	

Como se puede evidenciar en la tabla número 5, la gravedad específica obtenida por el picnómetro número 3 fue de 2.65 y la que se obtuvo por el número 7 fue de 2.63, por lo que se toma el promedio de los dos resultados y se obtiene que la gravedad específica de este suelo es de 2,64.

Este valor indica que probablemente el mineral predominante de ésta arena limosa es Feldespato (Na - Ca), ya que la gravedad específica para suelos que contienen este mineral se encuentra en un rango de 2,62 a 2,76 y la gravedad específica de este suelo fue de 2,64. (Universidad de la República, 2008), sin embargo se deberán realizar ensayos mineralógicos para determinar de la manera mas correcta posible este valor, actividad que esta por fuera del alcance de la presente investigación.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 3.5 LÍMITES DE ATTERBERG (NORMA TÉCNICA ASTM D 4318-84).

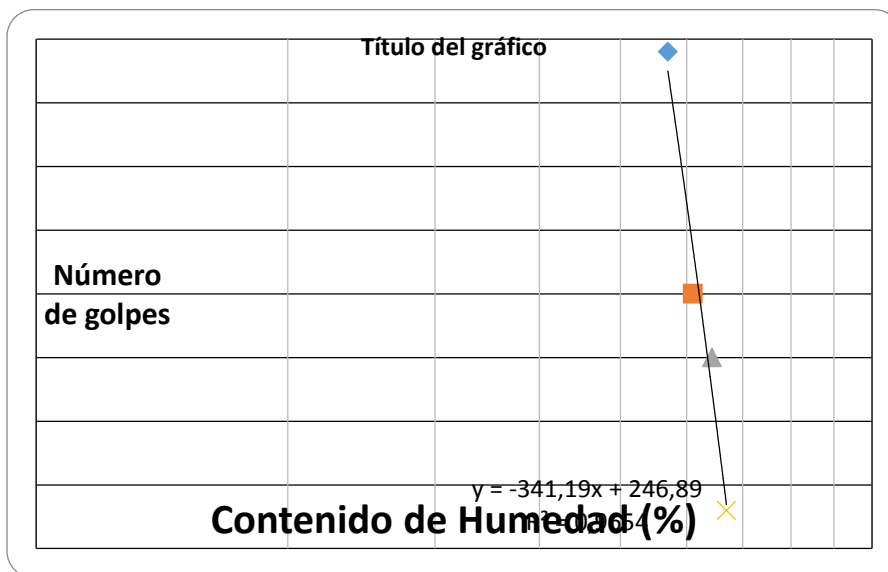
Para encontrar los límites Atterberg, se comenzó con la prueba de límite líquido, la cual se hizo con el suelo que estuviera seco al aire, para este procedimiento se utilizó suelo pasa tamiz número 40, el cual fue humedecido para posteriormente moldearlo en la máquina de casa grande (ilustración número 8) y contar el número de golpes necesario para cerrar la ranura previamente hecha con el separador.

Luego de este procedimiento se realizaron los cálculos en Excel, los cuales arrojaron los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 7. Resultados de límite líquido y plástico.**

Número tara	Masa tara (g)	Masa tara + suelo húmedo	Masa tara + suelo seco (g)	Masa suelo húmedo (g)	Masa suelo seco (g)	Humedad (%)	Número golpes
1	8,1	35,1	25,3	27	17,2	57,0%	54
3	7,7	26,7	19,5	19	11,8	61,0%	35
4	7,6	26,5	19,1	18,9	11,5	64,3%	30
5	8,1	27,8	19,9	19,7	11,8	66,9%	18
LP	73,5	92,9	87,7	19,4	14,2	36,6%	-

Con los datos de la tabla 6, se obtiene la ilustración número 9 en donde se grafica la humedad versus el número de golpes para sacar los límites que se muestran en la discusión de resultados.



**Ilustración 18. Gráfica de límite líquido.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 19. Copa de Casagrande. (Foto tomada del laboratorio de suelos E.I.A)**

### **3.6 COMPACTACIÓN PROCTOR ESTÁNDAR (NORMA TÉCNICA ASTM D 698).**

Para la ejecución de este ensayo fue necesario tomar 4 muestras de suelo que pasara por el tamiz número 4 para garantizar que solo se le fuera hacer la prueba al suelo y no hubiera piedras, cada muestra tenía una masa de 2.5 kg y se organizaron en bolsas a las que se le agregaron 100, 200, 300 y 400 ml de agua, luego de esto se procedió a sacar la energía de compactación que arrojó un número de 25 golpes en 3 capas. A cada muestra se le realizó el mismo procedimiento y se llegó a la conclusión que la humedad del suelo era muy alta, motivo por el cual se tuvo que esperar por un período de 2 semanas a que el suelo se secara al aire y poder repetir el procedimiento.

Luego de este tiempo, se repitió el experimento con el suelo seco y con menos volumen de agua, los volúmenes utilizados fueron de 0, 30, 130 y 200 ml de agua y con la misma energía del experimento anterior, como resultado se obtuvo que la cantidad óptima de agua era de 30 ml y que la humedad óptima del suelo era de 30,3 % aproximadamente, datos con los cuales se desarrollaron los experimentos de corte directo. En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos con este experimento.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**Tabla 8. Tabla de compactación Proctor Estándar.**

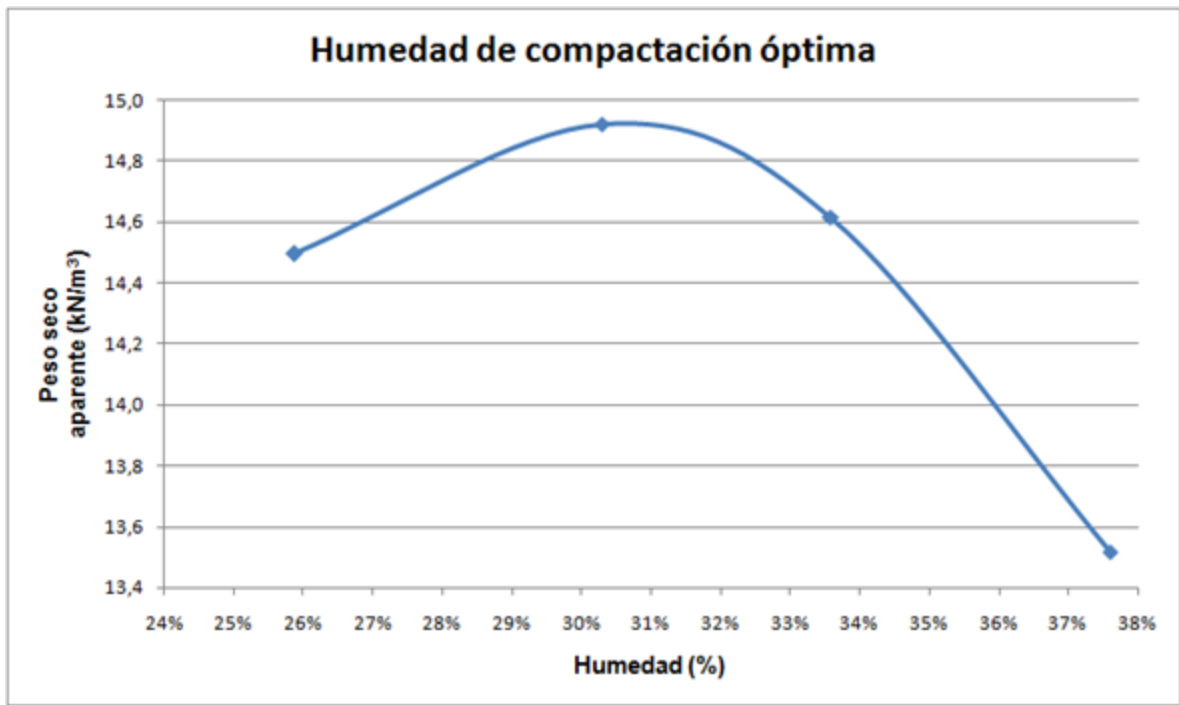
Número de muestra	Volumen de agua (ml)	Masa molde + suelo (g)	Masa taras vacías (g)	Masa taras + suelo húmedo compactado (g)	Masa suelo húmedo compactado (g)	Masa taras + suelo seco (g)	Humedad (%)	Humedad promedio (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Peso específico húmedo (KN/ m <sup>3</sup> )	Peso específico seco aparente (KN/ m <sup>3</sup> )
1	0	7091	4,30	46,7	42,40	38,00	25,82%	25,88%	1,8618	18,2	14,494
2	0	7091	8,20	53,9	45,70	44,50	25,90%		1,8618	18,2	
3	0	7091	8,60	52,3	43,70	43,30	25,94%		1,8618	18,2	
1	30	7206	7,90	67,6	59,70	53,70	30,35%	30,30%	1,9837	19,4	14,920
2	30	7206	7,90	54,8	46,90	43,90	30,28%		1,9837	19,4	
3	30	7206	8,70	63,8	55,10	51,00	30,26%		1,9837	19,4	
1	130	7214	21,0	82,9	61,90	67,40	33,41%	33,59%	1,9922	19,5	14,615
2	130	7214	7,50	58,7	51,20	45,90	33,33%		1,9922	19,5	
3	130	7214	8,90	53,8	44,90	42,40	34,03%		1,9922	19,5	
1	200	7125	10,53	60,02	11,62	48,40	30,684%	37,602%	1,8978	18,6	13,51628
2	200	7125	20,94	186	44,70	141,30	37,139%		1,8978	18,6	
3	200	7125	29,96	169,6	38,50	131,10	38,066%		1,8978	18,6	

Con estos resultados se realizó una tabla resumen que permitió hacer la gráfica de la humedad de compactación.

**Tabla 9. Tabla resumen de compactación Proctor Estándar.**

HUMEDAD (%)	PESO SECO APARENTE (kN/m <sup>3</sup> )
25,88	14,494
30,3	14,92
33,59	14,615
37,602	13,516

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 20. Gráfica de compactación.**

Como se puede evidenciar en la ilustración número 16 y se había mencionado anteriormente la humedad óptima de compactación fue de 30,33 % y un peso seco aparente de 14,92 kN/m³.

Para finalizar el procedimiento de este ensayo, se introduce la tabla de propiedades del molde o cilindro de compactación.

Cada muestra fue sometida a la misma energía de compactación (593 kN-m/m³), la misma cantidad de agua (30 ml) y la misma densidad y luego de cada cilindro se sacaron 3 muestras (anillos) que fueron sometidas a ensayos bajo 3 cargas normales diferentes asignadas de la siguiente manera: 9,4 kg, 14,4 kg y por último 24,4 kg. La cantidad de golpes se encontró por medio de la siguiente ecuación.

$$E = \frac{n \times N \times P \times H}{V}$$

Dónde:

E = energía (kN-m / m³)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



N = número de capas.

P = peso del martillo de compactación. (kg)

H = altura de caída. (m)

n = número de golpes.

V = volumen del cilindro. (m<sup>3</sup>)

El resultado fue de 2 capas de 23 golpes cada una.

**Tabla 10. Especificaciones de molde de compactación.**

Molde de compactación	
<b>Diámetro molde (cm)</b>	<b>10,15</b>
<b>Altura Molde (cm)</b>	<b>11,66</b>
<b>Área Molde (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>80,91</b>
<b>Volumen Molde (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>943,18</b>
<b>Masa Molde vacío (g)</b>	<b>5335,0</b>
<b>Gravedad (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>9,8</b>

### **3.7 ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NORMA TÉCNICA ASTM D 3080).**

Para la elaboración de los ensayos de corte directo se utilizaron 4 clases de muestras diferentes y por cada muestra 5 cilindros, de los cuales se sacaron los anillos para sus posteriores fallas, estas muestras fueron dispuestas de la siguiente manera: una muestra testigo, es decir, sin ladrillo triturado; otra muestra con un contenido de 4 % de ladrillo triturado, otra con un 8 % y por último otra muestra con un porcentaje de ladrillo triturado de 12 %.



**Ilustración 21. Muestras en anillo de corte directo.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 22. Ensayo de corte directo. (Foto tomada en el laboratorio de suelos de la E.I.A.).**

A continuación se muestran las especificaciones de los anillos utilizados para realizar los ensayos de corte directo.

**Tabla 11. Especificaciones anillo número 1**

Diámetro del anillo (cm)	6,995
Altura del anillo (cm)	2,53
Area anillo (m2)	0,00384296

Luego de haber realizados todos los ensayos de corte directo, se encontraron los resultados que se muestran en las siguientes tablas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**Tabla 12. Tabla de cohesión corte directo.**

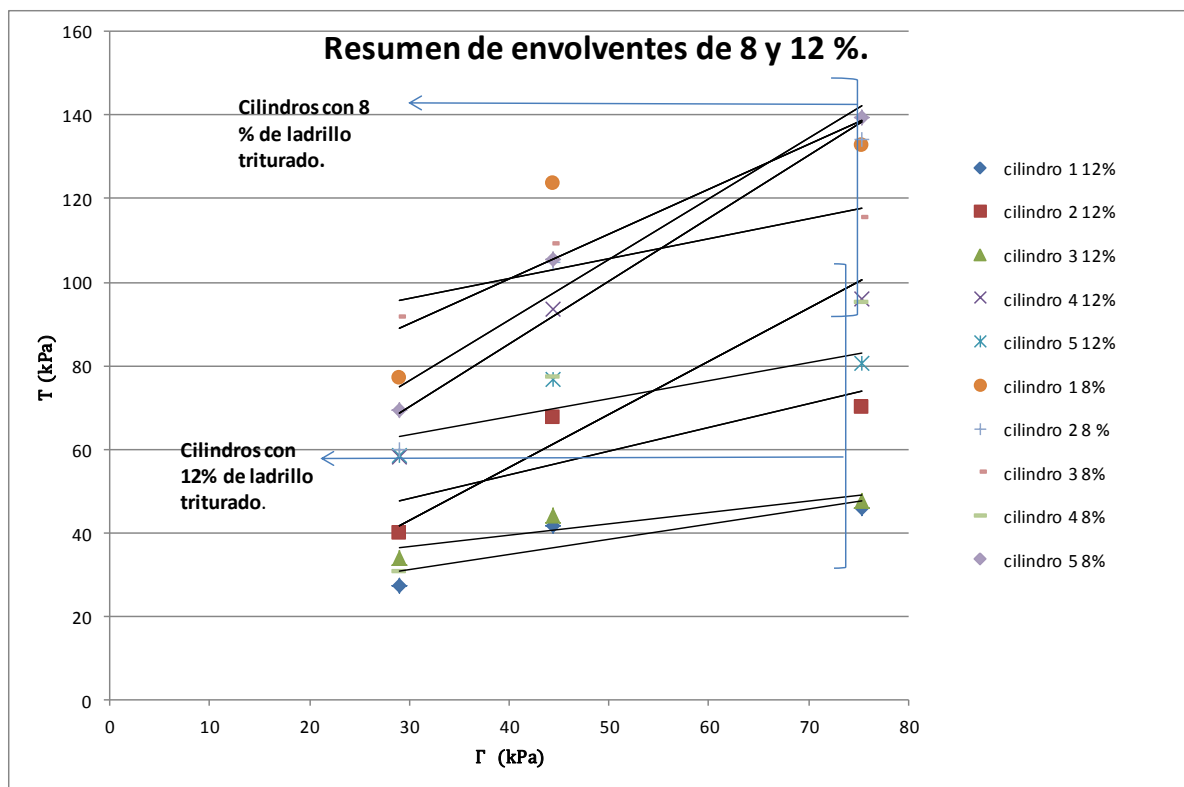
Porcentaje de ladrillo	Cohesión cilindro 1 (kPa)	Cohesión cilindro 2 (kPa)	Cohesión cilindro 3 (kPa)	Cohesión cilindro 4 (kPa)	Cohesión cilindro 5 (kPa)	Cohesión promedio (kPa)
0%	24,42	37,45	34,79	16,67	35,2	29,706
4%	43,48	7,61	41,66	13,27	46,6	30,524
8%	57,77	24,62	82,13	4,88	32,73	40,426
12%	20,28	31,03	28,54	46,92	50,63	35,48

**Tabla 13. Tabla de ángulos de fricción corte directo.**

Porcentaje de ladrillo	Ángulo de fricción cilindro 1 (grados)	Ángulo de fricción cilindro 2 (grados)	Ángulo de fricción cilindro 3 (grados)	Ángulo de fricción cilindro 4 (grados)	Ángulo de fricción cilindro 5 (grados)	ángulo de fricción promedio (grados)
0%	39,56	50,26	52,46	52,07	44,35	47,74
4%	40,03	52,7	61,85	57,44	42,61	50,93
8%	47,1	56,53	25,24	51,78	55,47	47,22
12%	20,4	29,58	15,14	32,317	23,19	24,13

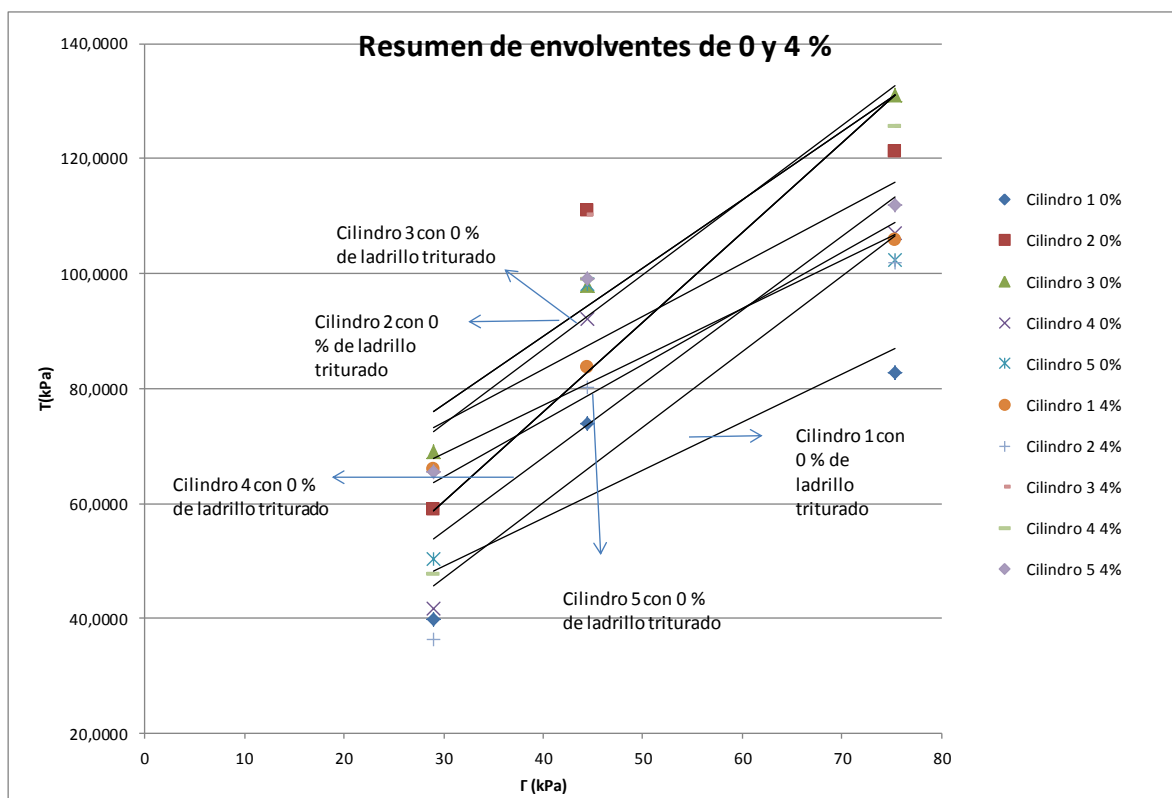
Lo que se muestra en las tablas anteriores son los cilindros de cada porcentaje, por cada uno de los porcentajes se sacaron 5 cilindros y por cada uno de ellos, 3 muestras para encontrar los valores que allí se evidencian. La cohesión se muestra en kPa y el ángulo de fricción en grados.

A partir de las tablas 12 y 13 se muestran grafican las siguientes ilustraciones en donde se muestran cada uno de los resultados que allí se evidencian, para los promedios se sacan curvas que se explican y se analizan más adelante en el numeral 4,2.



**Ilustración 23. Resumen de envolventes de falla de 8 y 12 % de ladrillo triturado.**

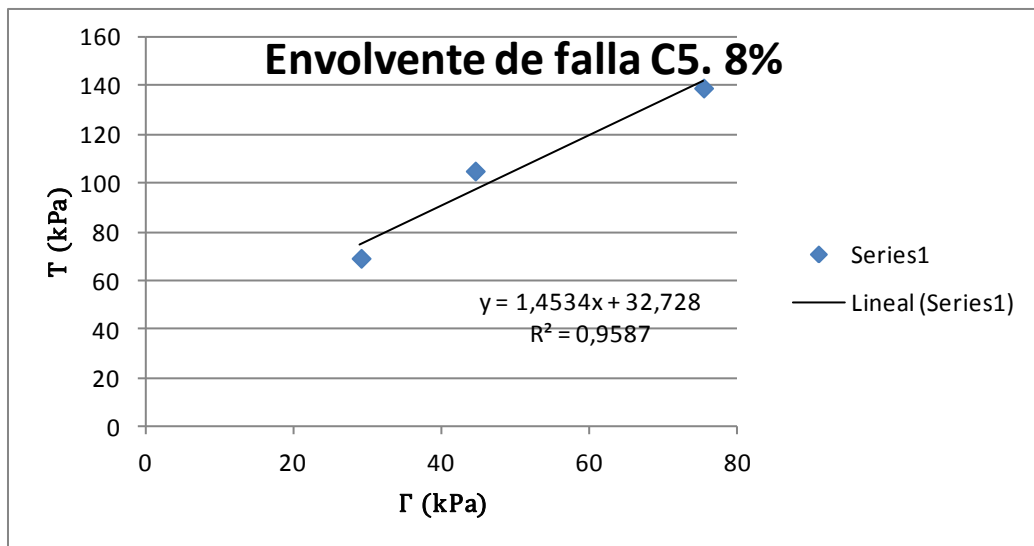
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 24. Resumen de envoltantes de falla de cilindros con 0 y 4 % de material.**

Para la ilustración 24, a diferencia de la número 23, las envoltantes de cada uno de los ensayos no se pudieron separar por bloques debido a que están muy unidas por lo que a todas las envoltantes pertenecientes a las muestras testigo (con % de ladrillo triturado se les puso el nombre para una mayor facilidad en la identificación, las que no tienen nombre son las envoltantes de falla de las muestras de 4 % de ladrillo triturado.

Es importante explicar que los resultados de la cohesión y el ángulo de fricción interno se sacan a partir de la envoltante que se crea con los 3 resultados de cada cilindro. A partir de dicha envoltante se crea una línea de tendencia lineal en Excel, la cual saca una ecuación de línea recta de la forma  $y = mx + b$ , en donde el término independiente (b) es el valor de la cohesión en kPa y el ángulo de fricción es la tangente inversa del valor que acompaña a la x.



**Ilustración 25. Envolvente de falla cilindro 5 Muestra con 8 % de ladrillo.**

Utilizando la ecuación del ejemplo tomado  $Y = 1,4534 X + 32,728$  se toma:

**Y** = Esfuerzo cortante (kPa)

**X** = Esfuerzo a compresión (kPa)

**1,4534** = corresponde a la pendiente de la recta, y aplicando la función tangente inversa se obtiene el ángulo de fricción de la muestra ensayada en grados.

**32,728** = corresponde a la cohesión de la muestra (kPa)

Con los resultados de las tablas 11 y 12 se realizaron las gráficas número 17 y número 18, donde la primera corresponde a la tabla de cohesiones y la segunda corresponde a los ángulos de fricción.

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

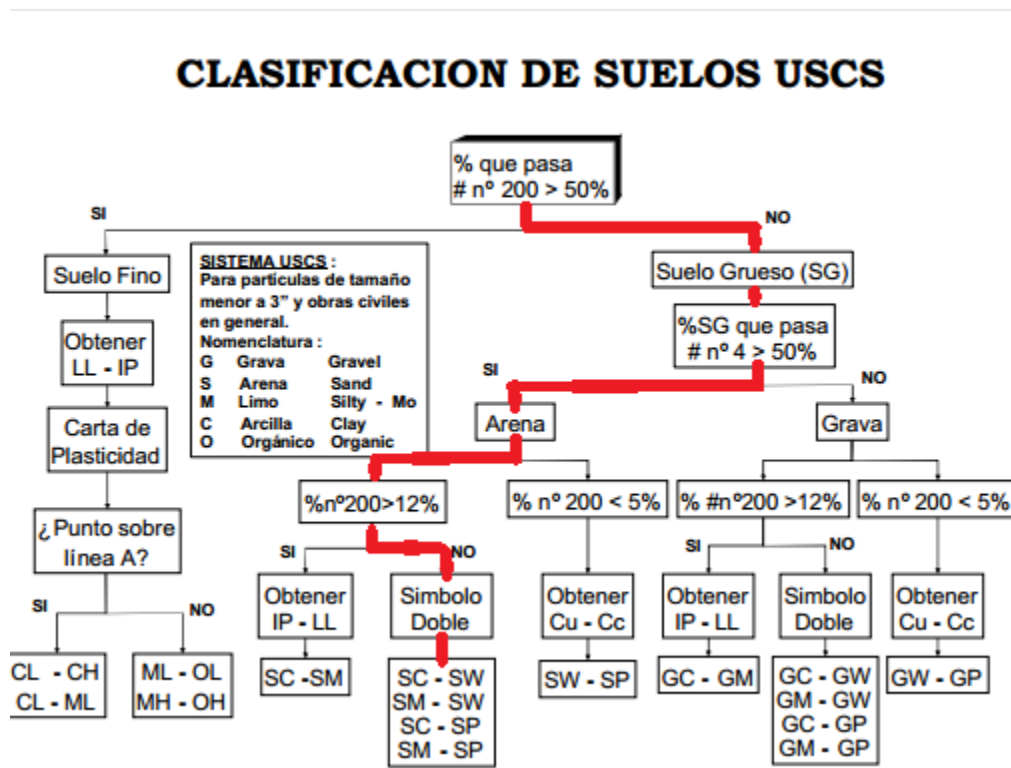
### 4.1 CLASIFICACIÓN DEL SUELO.

Luego de obtener los porcentajes que pasan y que son retenidos por el tamiz, el suelo se clasificó por medio de la clasificación unificada de suelos (USCS), sistema que indicó que la muestra de suelo analizada es una arena limosa mal gradada (SM-SP), la plasticidad y los límites se sacaron por medio del ensayo de límites a Atterberg. A continuación se muestran las tablas de clasificación del suelo y los límites plástico y líquido que se obtuvieron con los ensayos de caracterización física del suelo.

**Tabla 14. Resultados límites de Atterberg.**

LÍMITES DE ATTERBERG	
LL	65,0%
LP	36,6%
IP	28,4%



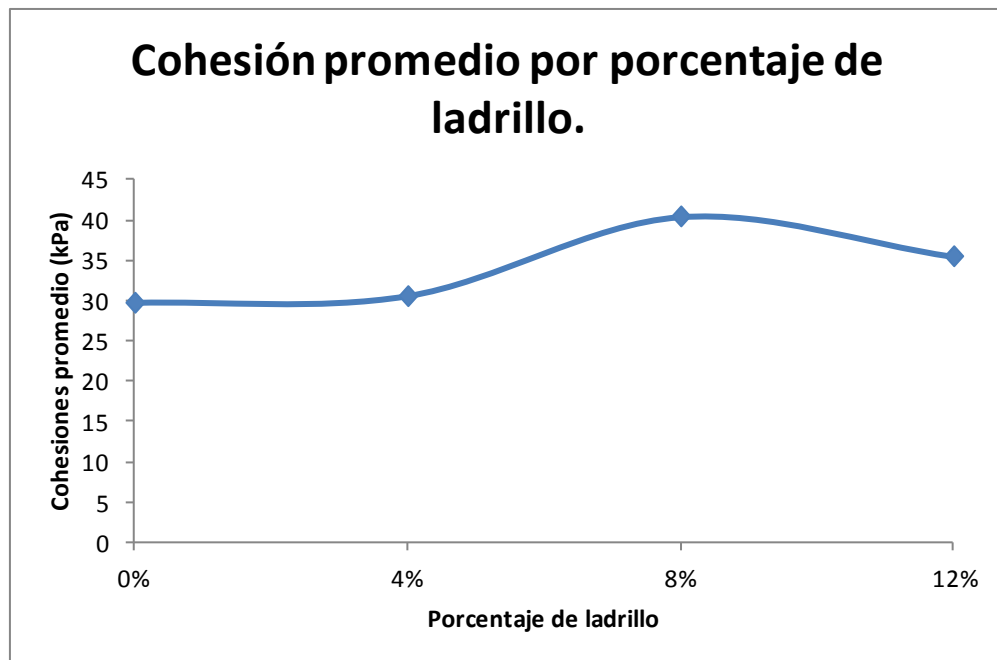


**Ilustración 26. Tabla de clasificación unificada de suelos USCS. (Pontificia universidad Católica de Valparaíso, s. f.)**

Como se evidencia en la tabla 13 el límite líquido del suelo fue mayor a 50 y la cantidad de suelo que pasó por el tamiz número 40 de los agregados finos fue mayor al 50 %, además por el tamiz número 200 pasó el 1,3 % que se muestra en la tabla número 2 y que es menor al 12 %. Por ende el suelo se clasifica como un SM-SP, que quiere decir arena limosa mal gradada, como se explicó en el parrafo anterior. Además de esto, se evidencia que el suelo tiene plasticidad, pues en la tabla de limites de Atterberg se muestra un índice de plasticidad de 28,4, lo que indica que el suelo tiene minerales finos en un 26,9 %, pues este es el porcentaje que pasa la malla número 60, siendo este un suelo que presenta cohesión y ángulo de fricción al mismo tiempo.

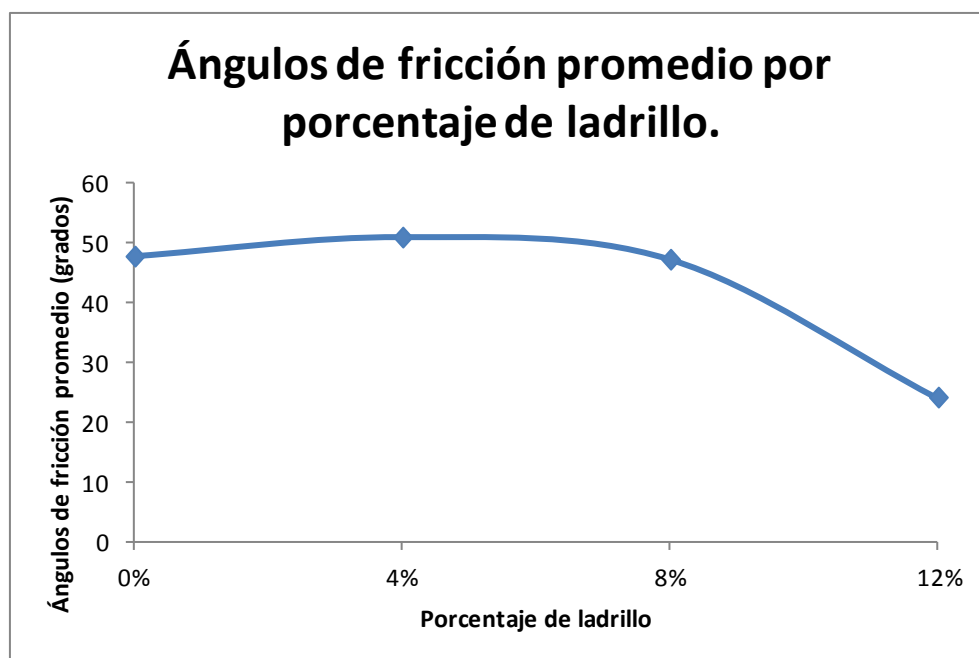
## 4.2 RESULTADOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.

Para poder hacer un análisis más detallado y acertado de los resultados obtenidos en este trabajo, se sacó un promedio de cada porcentaje de las cohesiones obtenidas en la tabla 12 y de los ángulos de fricción de la tabla 13 para elaborar las siguientes gráficas.



**Ilustración 27. Gráfica de cohesión promedio por porcentaje de ladrillo.**

Las muestras testigo, que no contenían ladrillo triturado, presentaron el coeficiente de cohesión más bajo de 29,71 kPa de las muestras analizadas, lo que indica que es un suelo que contiene partículas finas, pues es una arena limosa mal gradada como se explicó anteriormente. Se evidencia también que a medida que se agrega material triturado, se encuentra un aumento hasta la proporción de 8 % de ladrillo, es decir, al analizar la muestra que contiene 4 % de material triturado se encuentra una cohesión de 30,52 kPa y con la de 8 % una cohesión de 40,43 kPa, lo que indica que a medida que se agrega un mayor porcentaje de ladrillo triturado, el parámetro mencionado anteriormente aumenta en un 37,93 % su magnitud, con respecto a la muestra testigo y al 8 % de material que fue el que mayor valor de cohesión arrojó. Sin embargo para la muestra de 12 % de ladrillo triturado se evidencia un decrecimiento con respecto a la cohesión más alta, aunque sigue siendo mayor a el valor de cohesión que el de la muestra testigo.



**Ilustración 28. Gráfica de ángulos de fricción promedio por porcentaje de ladrillo.**

A diferencia del comportamiento creciente de la cohesión explicado anteriormente, el ángulo de fricción presenta una tendencia bien definida de decremento, pues a medida que se le adiciona gradualmente el agregado, los promedios de los ángulos de fricción disminuyen. Sin embargo la muestra de 4 % presenta un leve aumento con respecto a la muestra testigo, pues el suelo sin ladrillo triturado tiene un valor de  $47,74^{\circ}$  (grados) y al mezclar el suelo con un 4 % de material aumenta su magnitud en un 7 %, es decir, el valor del ángulo de fricción aumenta a  $50,93^{\circ}$  (grados); de ahí en adelante, esta magnitud decrece hasta llegar a un valor de  $24,13^{\circ}$  (grados) para las muestras de 12 % de ladrillo triturado, lo que indica que decrece un 49,5 %.

Este análisis indica que a medida que se agrega ladrillo triturado, este tipo de suelo específicamente (arena limosa), pierde sus propiedades de suelo granular, pero aumenta las propiedades de suelo cohesivo, aunque se evidencia que siempre van a estar presentes los dos parámetros mecánicos por el tipo de suelo explicado en el numeral 4,1.

El efecto del decrecimiento del valor de la cohesión cuando el material triturado es de 12 %, se puede dar porque la cantidad de ladrillo es muy alta y no permite una buena adherencia entre los minerales de las partículas finas, sin embargo como se dijo anteriormente, el valor de esta propiedad mecánica sigue siendo mayor que la de la muestra testigo. Para el ángulo de fricción, cuando la cantidad de material triturado es de la misma proporción mencionada en este párrafo, presenta una mayor caída en su valor, y una causa probable puede ser que las partículas de ladrillo se interponen entre las partículas de arena, y la angulosidad de esta puede ser menos pronunciada que las de la arena en estado natural, por lo que el coeficiente del ángulo de fricción disminuye casi a la mitad de la muestra testigo (0 %).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 4.3 RESULTADOS MODELACIÓN EN SLIDE.

Un talud es una superficie inclinada con respecto a la horizontal que adoptan las estructuras de tierra, que son llamadas laderas cuando son formadas naturalmente o que en muchas ocasiones son creadas por el hombre y son llamados taludes artificiales. La estabilidad de taludes hace referencia a la capacidad de este de sostenerse por sí solo y que no falle, por lo general, la inclinación más apropiada para un talud es la más escarpada. (DE MATTEIS, 2003)

Existen diferentes tipos de fallas en los taludes dentro de los cuales se encuentran deslizamientos que pueden ser lentos o rápidos, fallas rotacionales, fallas traslacionales, movimientos del cuerpo del talud y flujos, para estas fallas existen métodos de estudio y de análisis por medio de los cuales se encuentran factores de seguridad que permiten definir si puede existir algún tipo de riesgo para su estabilidad, o si por el contrario es estable.

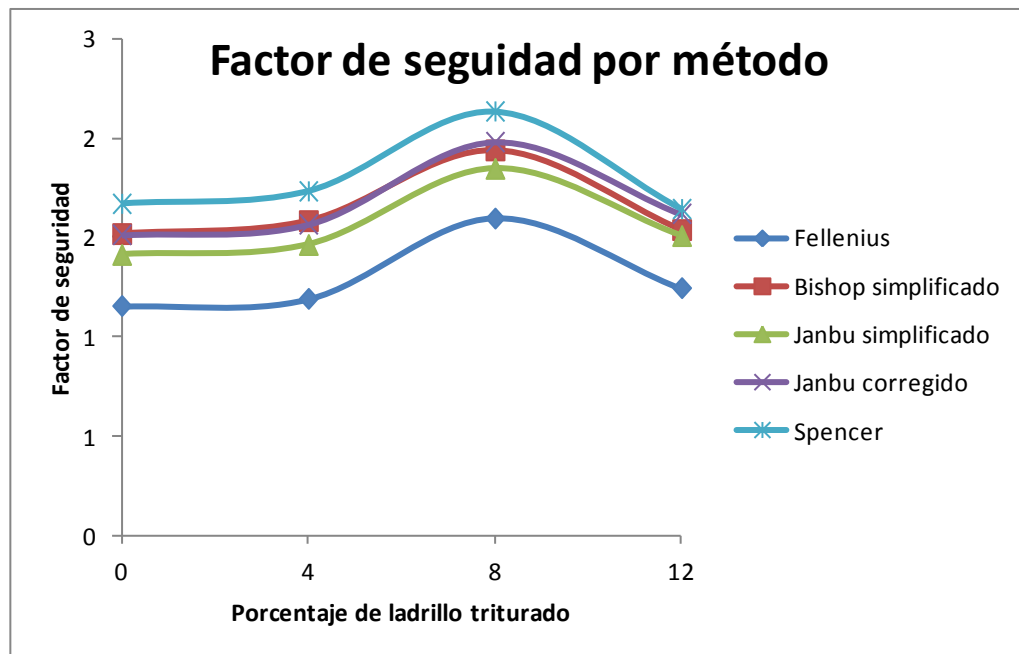
A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo, se realizó una modelación en el programa Slide 6.0, en el cual se simuló un talud en condiciones estáticas saturado (con el nivel de agua en el 100% de su altura) de 8 metros de altura por 7 metros de ancho, con un ángulo de inclinación de 48,8 grados, para encontrar sus factores de seguridad calculados por 5 métodos diferentes que fueron: Fellenius, Bishop simplificado, Janbu simplificado, Janbu corregido y por último Spencer.

Esta modelación arrojó los resultados que se evidencian en la siguiente tabla.

**Tabla 15. Resumen factores de seguridad por cada método**

LADRILLO TRITURADO					
% Ladrillo triturado	Fellenius	Bishop simplificado	Janbu simplificado	Janbu corregido	Spencer
0	1,15	1,52	1,41	1,51	1,67
4	1,19	1,58	1,46	1,56	1,73
8	1,59	1,94	1,84	1,98	2,13
12	1,24	1,54	1,51	1,62	1,64

A partir de la tabla número 15, se graficó la siguiente ilustración.



**Ilustración 29. Gráfica de factores de seguridad por cada uno de los métodos y porcentaje de ladrillo.**

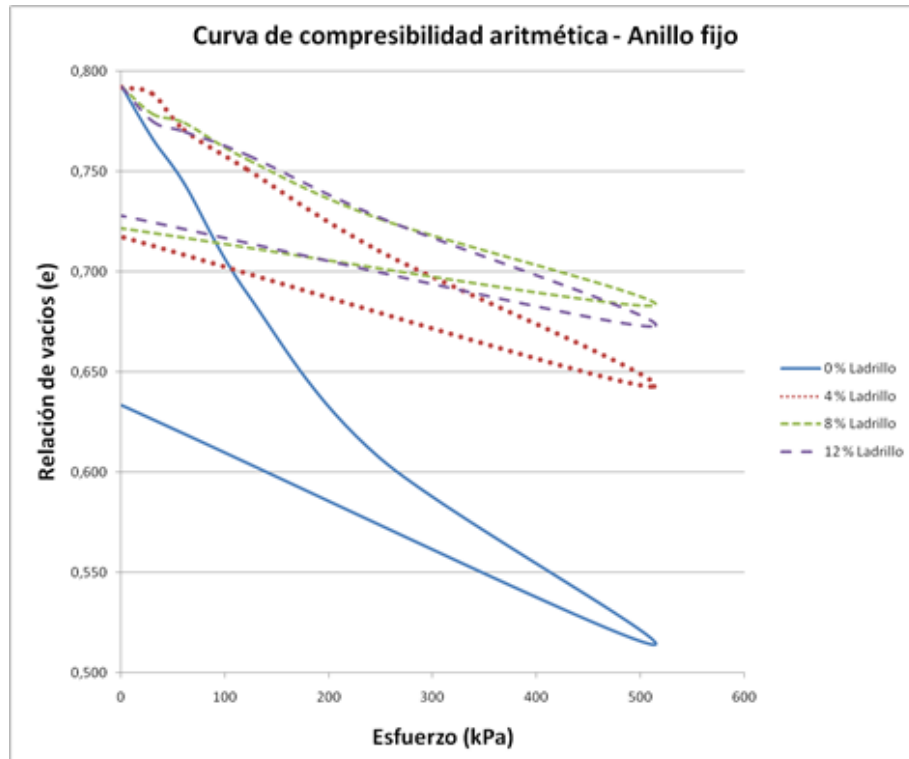
En la ilustración número 29 evidencian como los factores de seguridad siguen la misma tendencia, es decir, cuando el porcentaje de ladrillo triturado es nulo (0 %), se tiene el factor de seguridad más bajo y aumenta a medida que se va agregando esta material, y cuando el porcentaje de material triturado es de 8 %, se obtiene el factor de seguridad más alto por cada uno de los métodos mencionados anteriormente.

Esto indica que a medida que se agrega material triturado, la estabilidad de un talud o de un terraplén que sea de este tipo de suelo aumenta y es mayor su capacidad de sostenerse por sí mismo cuando el porcentaje de material es de 8 %, en el momento que la cantidad de ladrillo triturado es de 12 % los valores de los factores de seguridad por cada uno de los métodos disminuyen, sin embargo siguen siendo mayores a los factores de seguridad de la arena limosa sin agregado de ladrillo. Toda esta explicación se puede resumir en que finalmente el ladrillo triturado si mejora las propiedades mecánicas del suelo, y que por ende mejora la estabilidad de este, para este caso las arenas limosas.

#### 4.4 RESULTADOS ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN.

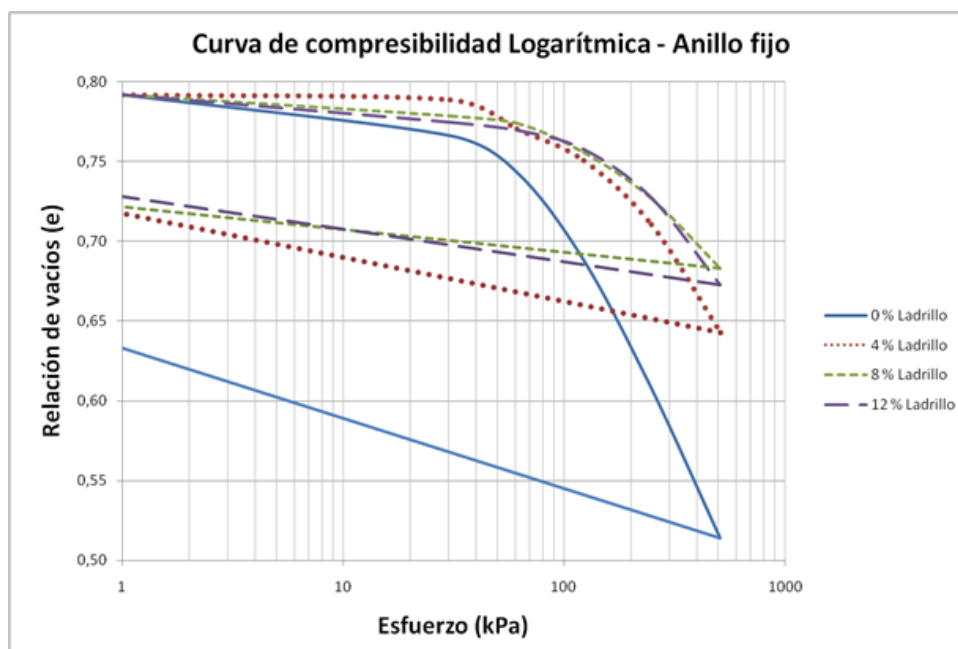
A continuación se muestran los resultados encontrados en los ensayos de consolidación de anillo fijo y anillo flotante para cada uno de los porcentajes que se trabajaron en los ensayos de corte directo.

Primero se analizan los resultados de anillo fijo, donde se muestran las gráficas y después se analizan.



**Ilustración 30. Curva de compresibilidad aritmética anillo fijo.**

Se puede ver en la curva aritmética un comportamiento de alta compresibilidad para la muestra sin ladrillo, ya que desde la primera carga aplicada la deformación de la muestra es mucho mayor que cuando contiene ladrillo, y a partir de la tercera sobrecarga comienza a estabilizarse mostrando una pendiente menor pero siempre superando los valores de deformación de las muestras con ladrillo triturado.



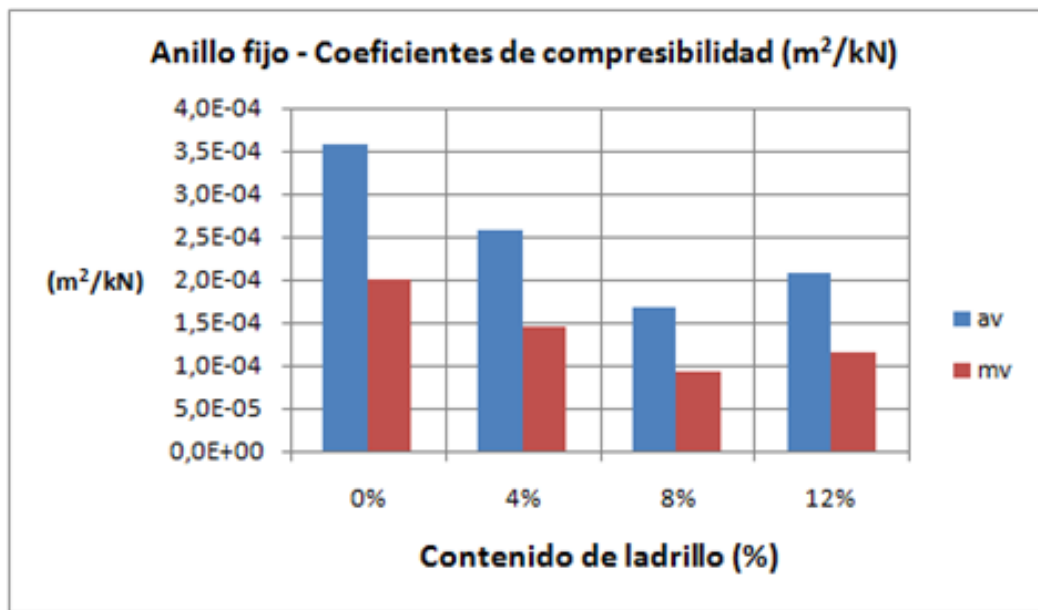
**Ilustración 31. Curva de compresibilidad logarítmica anillo fijo.**

La mayor deformación al aplicar las cargas se da en la muestra de 0% de contenido de ladrillo donde la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad es mucho mayor que las demás, mientras que el comportamiento de las muestras que sí contienen ladrillo triturado la deformación es mucho menor y muy semejante entre sí.

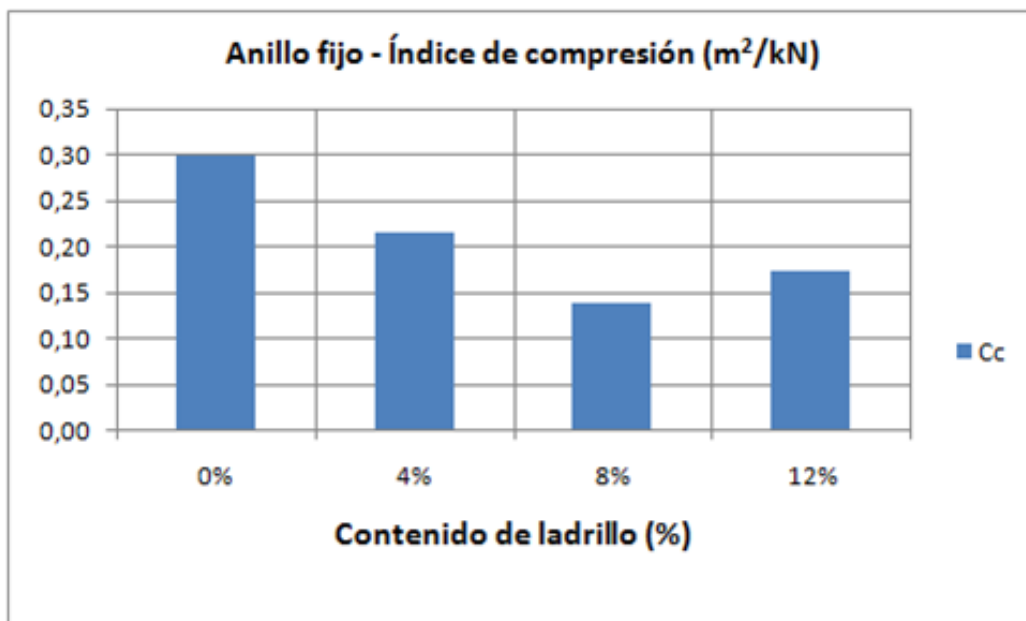
**Tabla 16. Resultados parámetros anillo fijo por porcentaje de ladrillo.**

Anillo fijo	Contenido de Ladrillo			
Parámetros	0%	4%	8%	12%
$a_v$ ( $m^2/kN$ )	3,57E-04	2,59E-04	1,67E-04	2,08E-04
$m_v$ ( $m^2/kN$ )	1,99E-04	1,44E-04	9,31E-05	1,16E-04
$C_c$ ( $m^2/kN$ )	0,2987	0,2166	0,1397	0,1739
$C_s$ ( $m^2/kN$ )	0,0440	0,0275	0,0143	0,0204
$C_c/C_s$ (5 a 10)	6,78	7,87	9,76	8,54
$t_{90}$ (min)	4	1,96	1,96	2,56
$T_{90}$	0,848	0,848	0,848	0,848
$H^2$ ( $mm^2$ )	150,0625	150,0625	150,0625	150,0625
$H^2$ ( $m^2$ )	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04	1,50E-04
$C_v$ ( $m^2/min$ )	3,18E-05	6,49E-05	6,49E-05	4,97E-05
$C_v$ ( $m^2/año$ )	16,72	34,12	34,12	26,13
$K$ ( $m/min$ )	6,21E-08	9,19E-08	5,92E-08	5,65E-08
$K$ ( $m/año$ )	0,0326	0,0483	0,0311	0,0297
$K$ ( $mm/año$ )	32,618	48,279	31,141	29,683

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 32. Gráfica de coeficientes de compresibilidad de anillo fijo.**



**Ilustración 33. Gráfica de índices de compresión de anillo fijo.**



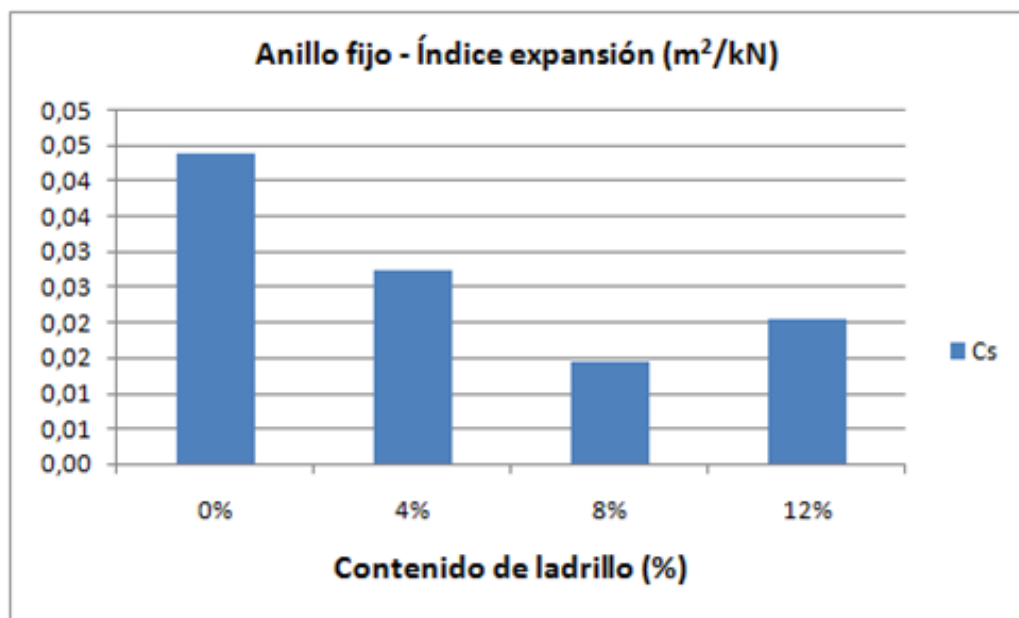


Ilustración 34. Gráfica de índices de expansión de anillo fijo.

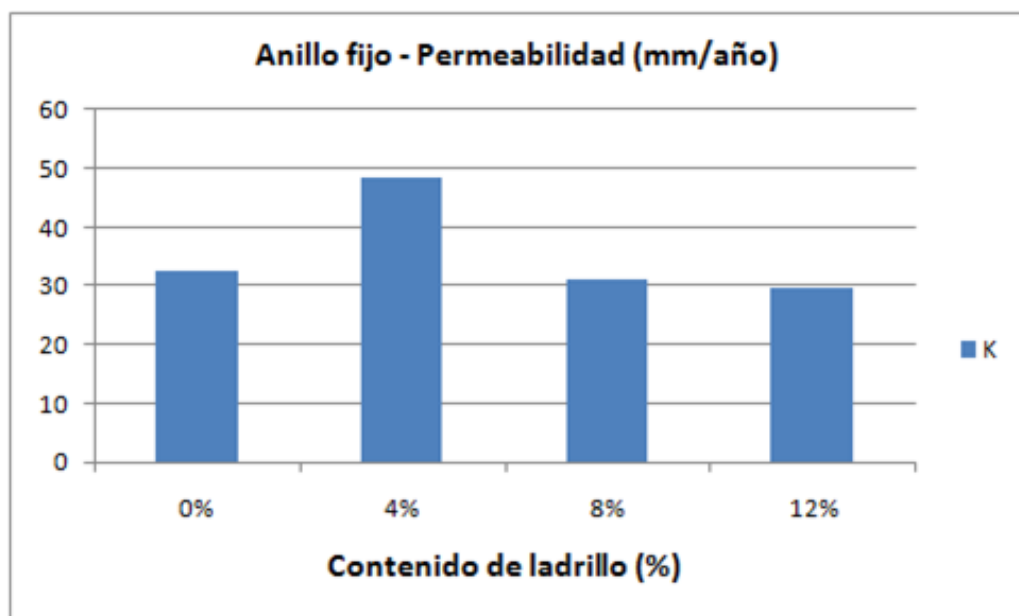
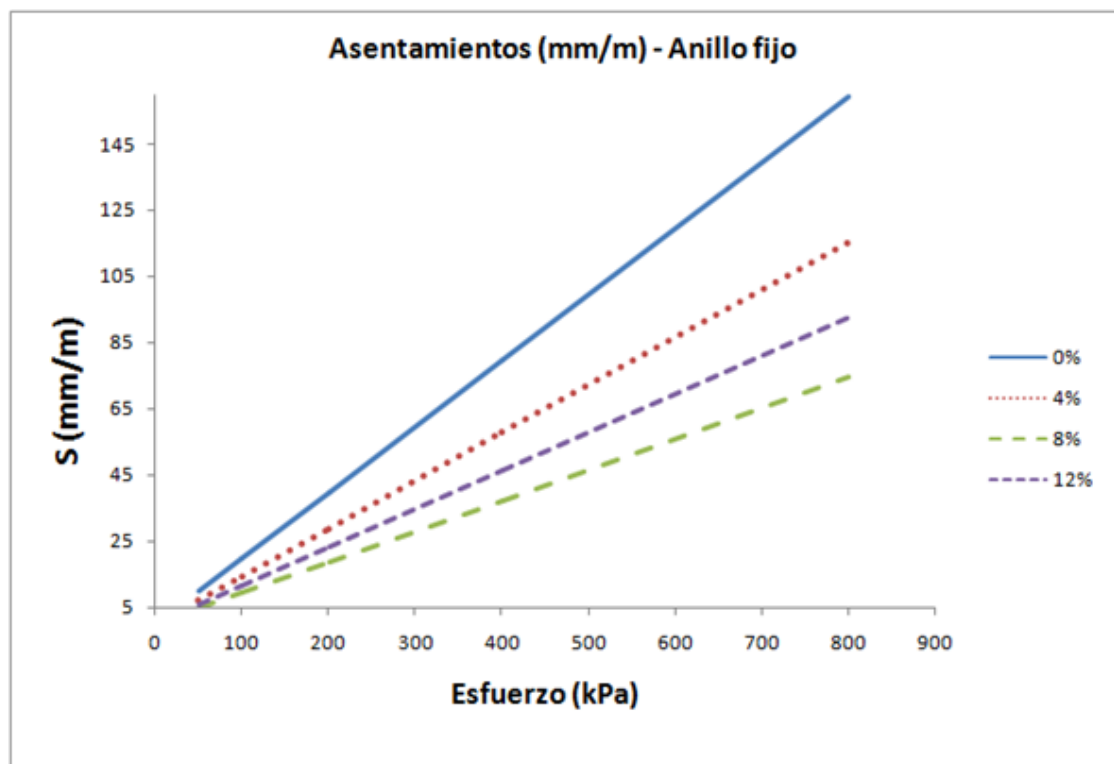


Ilustración 35. Gráfica de permeabilidad anillo fijo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 36. Gráfica de asentamientos anillo fijo.**

Los parámetros de compresibilidad (coeficiente de compresibilidad, coeficiente de compresibilidad volumétrica e índice de compresión) presentan un decremento en su valor al adicionar ladrillo triturado. Esto indica que, el suelo remoldeado con ladrillo triturado tiene la propiedad de ser menos compresible al estar confinado con un anillo fijo que permite sólo deformación unidimensional; siendo la proporción del 8 % de contenido de ladrillo, la que presenta menor deformación disminuyendo en un 53 % el valor del índice de compresión con respecto al del suelo sin adición de ladrillo.

El índice de expansión tiene un comportamiento similar a los parámetros de compresibilidad, ya que la mezcla con 8 % de ladrillo triturado tiene el menor valor para éste, es decir, representa la mezcla que tiene la menor capacidad de expandirse, una vez el suelo ha sido deformado por la carga aplicada.

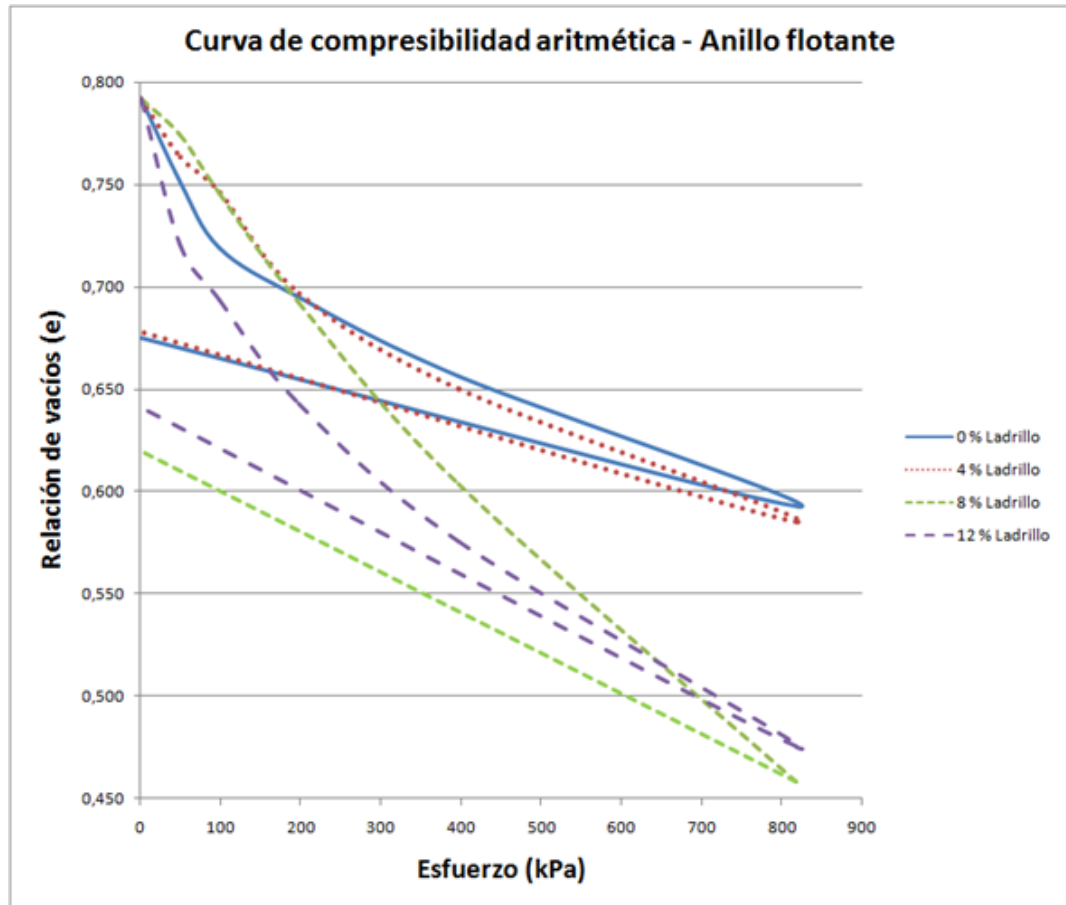
En cuanto a la permeabilidad de las muestras, se mantienen constante cuando se incrementa el contenido de ladrillo, excepto por la mezcla de 4 % de ladrillo, que presenta un incremento notable de su permeabilidad, aumentando en un 48 % con respecto a las demás muestras ensayadas.

Adicionalmente se puede ver en la gráfica de asentamientos un comportamiento de compresibilidad mucho mayor para el suelo en estado inalterado, ya que en las rectas de asentamiento contra esfuerzo aplicado, las mayores deformaciones las presenta éste, debido a que los asentamientos del suelo dependen esencialmente el coeficiente de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

compresibilidad del suelo estudiado, de la carga aplicada y el espesor del estrato que se esté analizando, por lo tanto la pendiente de las rectas de ésta grafica representa el coeficiente de compresibilidad volumétrica del suelo analizado, que a su vez, es proporcional en su valor a los demás parámetros de compresibilidad.

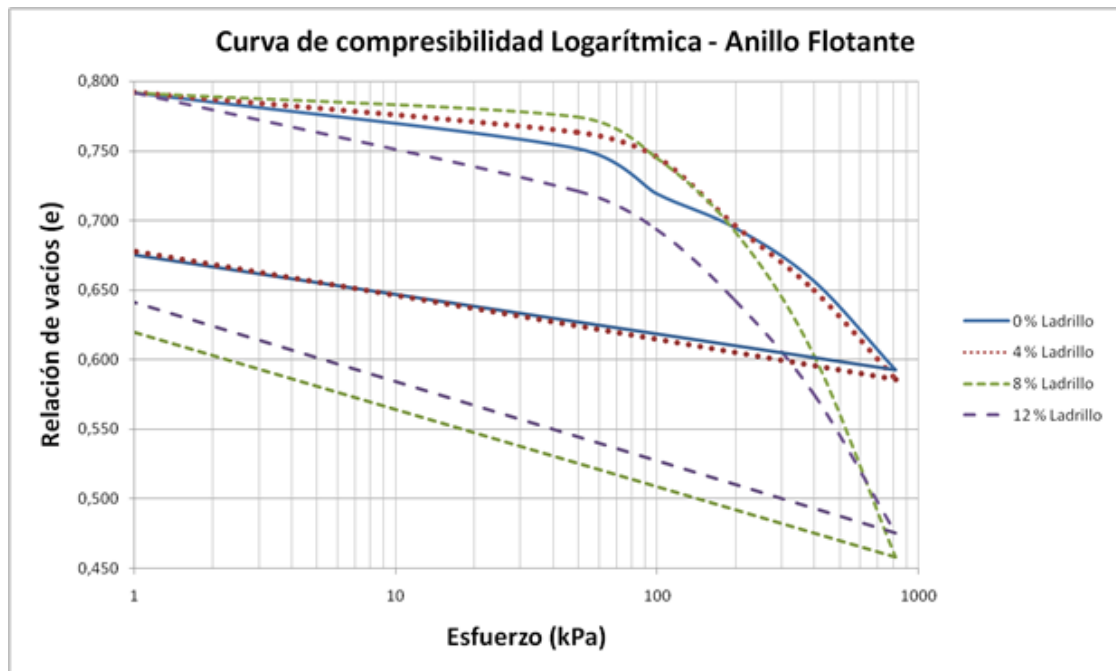
Los resultados de consolidación para el anillo flotante fueron los siguientes:



**Ilustración 37. Curva de compresibilidad aritmética anillo flotante.**

Se pueden ver comportamientos muy similares para las muestras de 0 a 4 % y de 8 a 12 % de ladrillo respectivamente, siendo éstas últimas dos, las que mayores deformaciones por compresión presentaron, por lo que se puede decir que la muestra de suelo no tiene un cambio importante en su compresibilidad cuando tiene un contenido de 4 % de ladrillo, siendo lo contrario para 8 y 12 %.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 38. Curva de compresibilidad logarítmica anillo flotante.**

Semejante a lo observado en las curvas de compresibilidad aritméticas, se define un comportamiento muy parecido para las curvas de 0 y 4 % de contenido de ladrillo, mientras que por otro lado se encuentran las curvas de 8 y 12 % que muestran mayores compresibilidades y semejanza de comportamiento entre sí, cabe resaltar que el comienzo del tramo virgen para todos los contenidos de ladrillo comienza a partir de los 100 kPa aproximadamente.

Tabla 17. Resultados parámetros anillo flotante por porcentaje de ladrillo.

Anillo flotante	Contenido de Ladrillo			
Parámetros	0%	4%	8%	12%
$a_v$ ( $m^2/kN$ )	1,52E-04	1,53E-04	3,46E-04	2,38E-04
$m_v$ ( $m^2/kN$ )	8,46E-05	8,52E-05	1,93E-04	1,33E-04
$C_c$ ( $m^2/kN$ )	0,2034	0,2047	0,4632	0,3197
$C_s$ ( $m^2/kN$ )	0,0283	0,0317	0,0553	0,0569
$C_c/C_s$ (5 a 10)	7,20	6,46	8,37	5,62
$t_{90}$ (min)	1,44	1,69	1,44	3,61
$T_{90}$	0,848	0,848	0,848	0,848
$H^2$ ( $mm^2$ )	77,44	77,44	77,44	77,44
$H^2$ ( $m^2$ )	7,74E-05	7,74E-05	7,74E-05	7,74E-05
$C_v$ ( $m^2/min$ )	4,56E-05	3,89E-05	4,56E-05	1,82E-05
$C_v$ ( $m^2/año$ )	23,97	20,42	23,97	9,56
$K$ ( $m/min$ )	3,78E-08	3,24E-08	8,62E-08	2,37E-08
$K$ ( $m/año$ )	0,0199	0,0170	0,0453	0,0125
$K$ ( $mm/año$ )	19,881	17,049	45,289	12,466

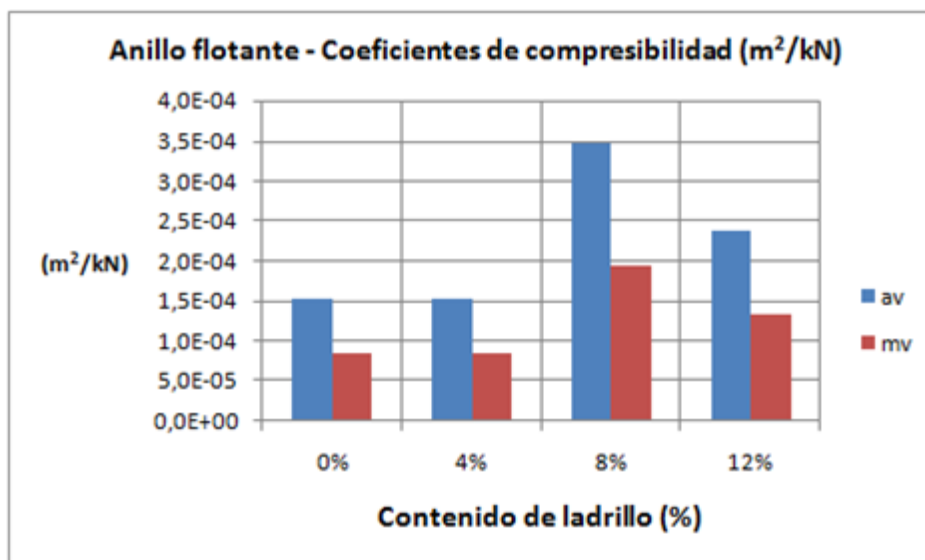
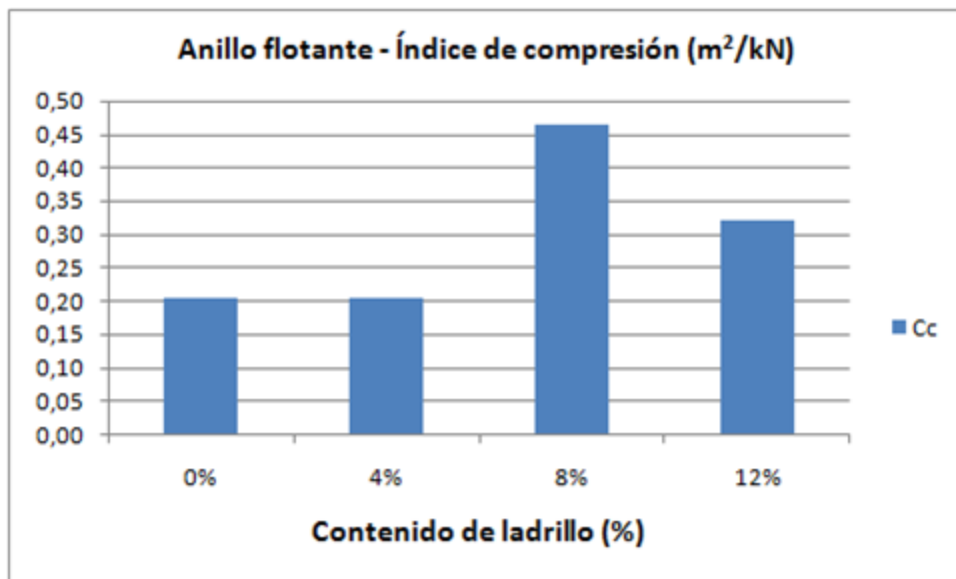
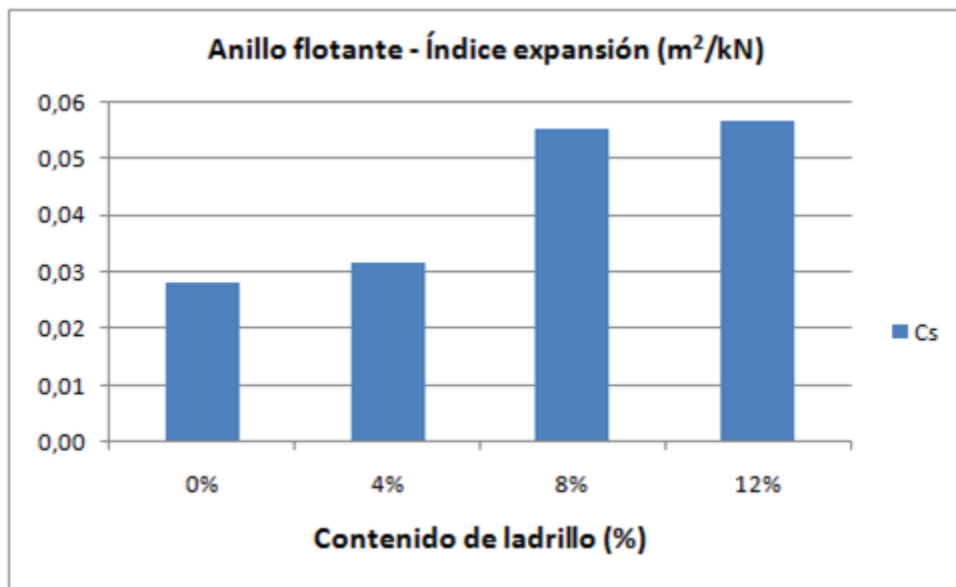


Ilustración 39. Gráfica de coeficientes de compresibilidad anillo flotante.

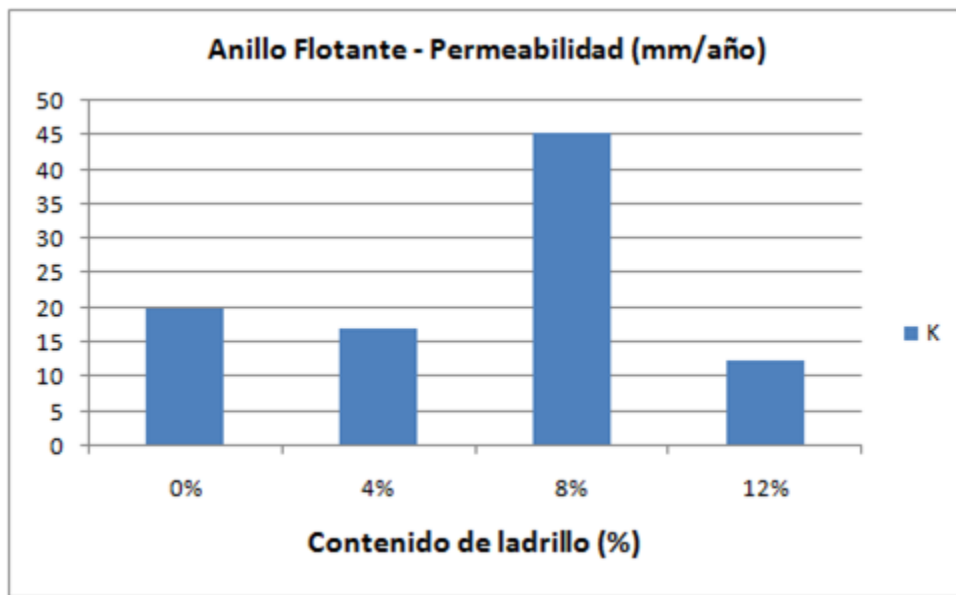


**Ilustración 40. Gráfica de índices de compresión anillo flotante.**

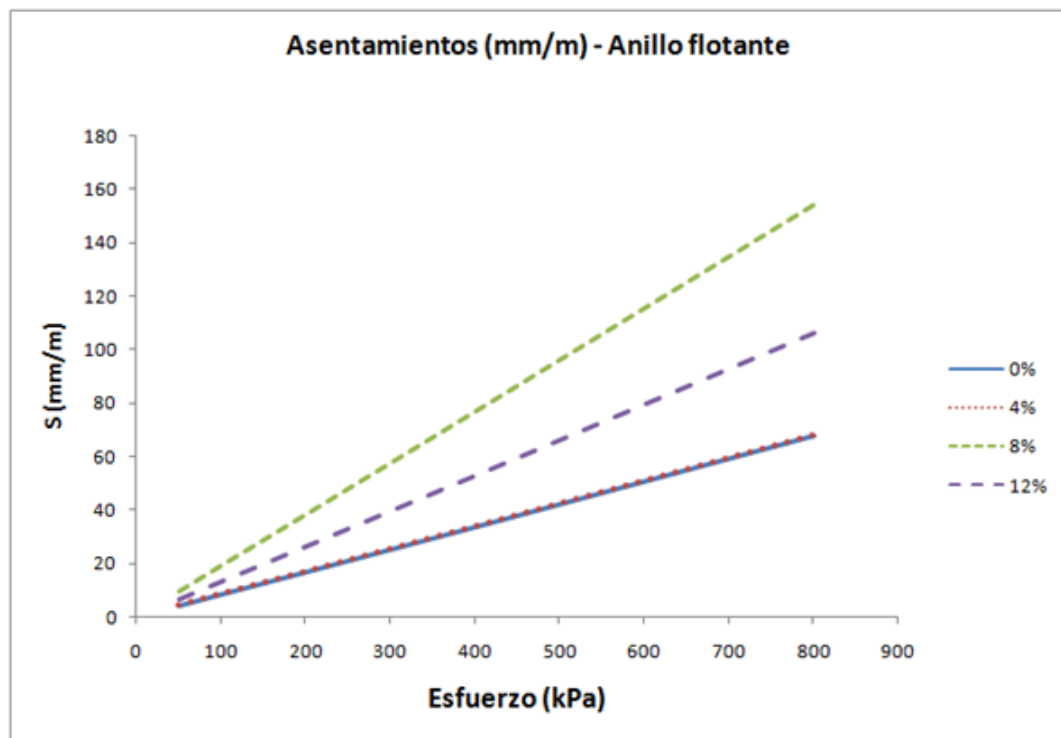


**Ilustración 41. Gráfica de índices de expansión anillo flotante.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 42. Gráfica de permeabilidad anillo flotante.**



**Ilustración 43. Gráfica de asentamientos anillo flotante.**

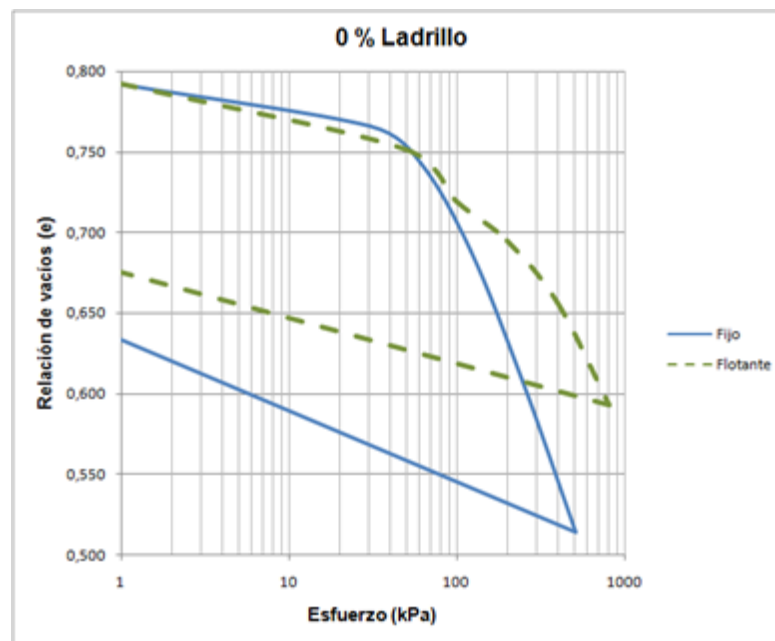
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Los parámetros de compresibilidad del ensayo con anillo flotante demuestran que para la proporción de suelo inalterado y 4 % de ladrillo, el comportamiento de compresibilidad de la muestra es el mismo por lo que la anterior proporción mencionada no genera alteraciones en las deformaciones del suelo; mientras que para la proporción de 8 % y 12 % de contenido de ladrillo la compresibilidad del suelo aumentó hasta en un 127 % con respecto a la muestra de 0% de contenido de ladrillo, siendo la compresibilidad más alta, la presentada por la muestra con ( % e contenido de ladrillo en su interior.

El índice de expansión muestra un comportamiento similar al valor de los coeficientes de compresibilidad, ya que éste no varía para l proporción de 4 % de ladrillo con respecto a la de 0 %, y tiene un aumento de hasta un 101 % para la muestra de 12 % de ladrillo triturado con respecto a la muestra inalterada, lo que significa una mayor capacidad de ésta muestra de aumentar su relación de vacíos, al quitar la carga a la que fue sometida tal proporción.

La permeabilidad de las muestras de 0 y 4 % de ladrillo tienen permeabilidad relativamente semejante, mientras que para la muestra de 8 % de ladrillo triturado se puede observar un aumento drástico de ésta, siendo la muestra con mayor permeabilidad.

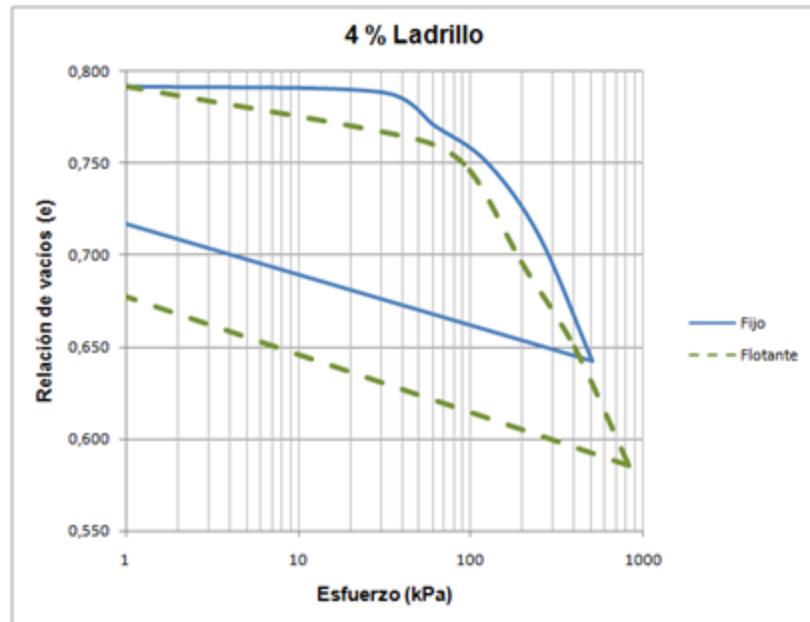
Tal y como lo demuestran los parámetros de compresibilidad la gráfica de asentamientos tiene la misma pendiente para las proporciones de 0 y 4 % de contenido de ladrillo, mientras que los asentamientos son mayores para las muestras de 8 y 12 % de ladrillo, debido a que éstas muestras presentan un mayor coeficiente de compresibilidad volumétrica, y los asentamientos, son función lineal de éstos.



**Ilustración 44. Curva compresibilidad anillo fijo y anillo flotante. 0 % Ladrillo.**

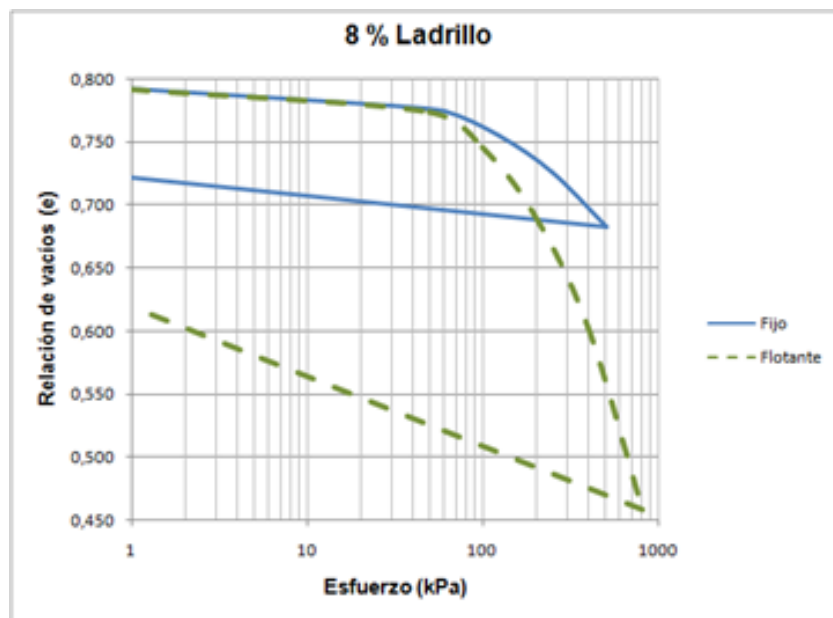


La anterior curva de compresibilidad muestra mayores deformaciones para la muestra de anillo fijo debido a que su compresibilidad es mayor, además de que su tramo virgen comienza a partir los 70 kPa mientras que la muestra de anillo flotante comienza su tramo virgen a partir de los 200 kPa.



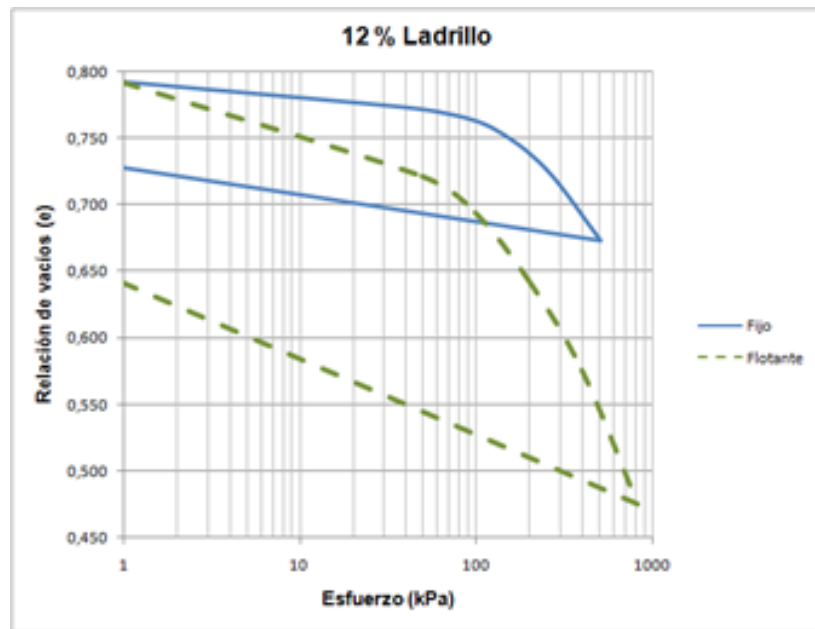
**Ilustración 45. Curva compresibilidad anillo fijo y anillo flotante. 4 % Ladrillo.**

A diferencia de la curva de 0 % las pendientes del tramo virgen de las curvas para 4 % de contenido de ladrillo se igualan, pero la diferencia es levemente notoria debido a que la pendiente de la curva de anillo fijo sigue siendo mayor por lo que representa un suelo más compresible.



**Ilustración 46. Curva compresibilidad anillo fijo y anillo flotante. 8 % Ladrillo.**

Al adicionar un contenido de 8 % de ladrillo a las muestras se da un cambio en la compresibilidad del suelo aumentando notoriamente la compresibilidad del suelo en la prueba de anillo flotante por lo que se pueden apreciar deformaciones importantes en comparación con la prueba de anillo fijo. El comportamiento del suelo es muy similar para esfuerzos de hasta 60 kPa.



**Ilustración 47. Curva compresibilidad anillo fijo y anillo flotante. 12 % Ladrillo.**

Según la tendencia mostrada por las pruebas, al adicionar ladrillo triturado, el suelo disminuye su compresibilidad en la prueba de anillo fijo, mientras que en la prueba de anillo flotante la compresibilidad va en aumento, como en la anterior ilustración se puede observar una compresibilidad mucho mayor para la prueba de anillo flotante en comparación con la prueba de anillo fijo.

## 5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

- El ladrillo triturado en las arenas limosas mal gradadas tiene un efecto de incremento para la cohesión, pues a medida que se aumenta el porcentaje de material triturado su magnitud igualmente crece, aunque, cuando el porcentaje de material es de 12 % la magnitud de la cohesión tiene una leve disminución, sin embargo su valor sigue siendo mayor que el de la muestra testigo.
- El material triturado para el tipo de suelo mencionado en el párrafo anterior tiene un efecto de decrecimiento en la magnitud del ángulo de fricción, pues a medida que aumenta el porcentaje de ladrillo en las muestras, su valor va disminuyendo.
- El ladrillo triturado, en términos generales, mejora las propiedades mecánicas de las arenas limosas y a su vez mejora la estabilidad de este, la mejor respuesta a ese material se da cuando la proporción de material agregado es de 8 %.
- Las diferencias que se evidencian en algunos de los resultados de los parámetros mecánicos del suelo en algunos de los ensayos, se debe a que en ocasiones, algunas muestras, tienen una mayor densidad que otras, pues la elaboración de los cilindros es un proceso manual en el cual se pierde suelo que queda adherido a las paredes del molde (cilindro) de compactación, que dificulta que todas las muestras falladas tengan la misma densidad. Sin embargo se trató de dar solución al problema aplicándole vaselina a las paredes del molde anteriormente mencionado, y así evitar que los cilindros compactados perdieran una cantidad significativa de la mezcla del suelo.
- Se recomienda realizar ensayos triaxiales, mediante los cuales se pueden obtener los mismos parámetros analizados, con las mismas proporciones de mezclas para ratificar el comportamiento descrito anteriormente y posteriormente hallar una posible tendencia más sólida.
- Debido a que la humedad es un parámetro condicionado al continuo intemperismo al que están sometidos los terrenos, y es un factor determinante en las características mecánicas de los suelos, se sugiere analizar el cambio de las propiedades mecánicas de la mezcla suelo-ladrillo teniendo en cuenta la variación de la humedad.
- El suelo es un material que presenta gran cantidad variables, las cuales hacen de éste un material muy complejo. El estudio que se llevó a cabo en el presente es bastante limitado debido a que está enfocado para una humedad, tipo de suelo y granulometría específicas, por lo tanto es recomendable considerar analizar la interacción del comportamiento de la mezcla de ladrillo triturado para otras características específicas de suelos y poder así posiblemente encontrar resultados que puedan conformar una base más sólida del comportamiento de los suelos cuando es mezclado con este tipo de material.

- La compresibilidad del suelo depende del lugar en el que se encuentre el estrato, debido a que el comportamiento de éste difiere según la restricción que haya a la deformación lateral, tal como lo simulan las pruebas con anillo fijo y anillo flotante.  
  
-Adicionar ladrillo triturado a un suelo que tiene confinamiento lateral puede ser beneficioso en las proporciones ensayadas, debido a que los asentamientos de las muestras fueron menores en comparación con la muestra sin ladrillo triturado, siendo la muestra de 8 % de contenido de ladrillo, la que presentó los menores asentamientos.  
  
- Adicionar ladrillo triturado a un suelo con menor restricción lateral, puede ser perjudicial, tal como se pudo identificar en la prueba de consolidación con anillo flotante, debido a que los asentamientos de las muestras aumentaron al adicionar ladrillo triturado.
- Uno de los factores más determinantes en la compresibilidad de un suelo es la compactación de éste mismo, debido a que un suelo muy compactado, presenta menor relación de vacíos, y por ende, al aplicarle una carga tendrá menores asentamientos.
- La permeabilidad no muestra una tendencia en su comportamiento, ya que en ambos resultados, tanto para anillo fijo como para anillo flotante ésta tuvo un aumento significativo para proporciones puntuales, aumentando para la proporción de 4 % en anillo fijo y en la proporción de 8 % de contenido de ladrillo para anillo flotante.
- Se pudo observar un comportamiento semejante entre los valores del índice de compresión y el índice de expansión de los suelos analizados, teniendo valores proporcionalmente semejantes.
- Aunque los parámetros de compresibilidad (coeficiente de compresibilidad, coeficiente de compresibilidad volumétrica e índice de compresión) presentan valores diferentes entre sí, presentan variaciones proporcionales, y apuntan a lo mismo, es decir, cuando uno de ellos aumenta o disminuye, los otros también, debido a que todos dependen de la pendiente que hay por el cambio de la relación vacíos del suelo, al aumentar el esfuerzo sobre éste.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Medellín. (s.f.). *Descripción de zonas homogéneas, microzonificación sísmica del área urbana*. Obtenido de <http://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Plan%20de%20Desarrollo/Secciones/Informaci%C3%B3n%20General/Documentos/POT/Recomendaciones%20Microzonificaci%C3%B3n%20S%C3%ADsmica/Microzonificaci%C3%B3n%20s%C3%ADsmica>
- ANAPE (Asociación Nacional de Polietireno Expandido). (s.f.). *Manual de aligeramiento de estructuras*. Recuperado el 10 de junio de 2013, de <http://www.anape.es/pdf/Manual%20de%20Aligeramiento.pdf>
- Bourne, T. E. (s.f.). *ARQHYS Architects Site*. Recuperado el 25 de 08 de 2012, de <http://www.arqhys.com/construccion/cohesion-suelo.html>
- BOWLES, J. E. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. Mexico: McGRAW-HILL.
- CCCS. (s. f.). *Consejo Colombiano de Construcción Sostenible*. Recuperado el 21 de Agosto de 2012, de <http://www.cccs.org.co/nosotros/alianza-con-el-usgbc>
- DAS, B. M. (1997). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Sacramento, California.
- DE MATTEIS, Á. (Agosto de 2003). *Estabilidad de taludes*. Obtenido de Universidad Nacional de Rosario: <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>
- IGLESIAS Pérez, C. (2002). *Mecánica del suelo*. Madrid, España: SÍNTESIS.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). Suelo. En *Mecánica de Suelos* (Tercera ed., Vol. 1, pág. 34). Méxicio D.F.: Limusa.
- Karl Terzaghi, R. B. (1958). *Mecánica de suelos de ingeniería práctica*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Ladrillera INMACO. (n. r. de n. r. de 2011). *INMACO*. Recuperado el 25 de 8 de 2012, de <http://www.inmaco.com.gt/index.php/en/inmaco/proceso-de-produccion>
- Pontificia universidad Católica de Valparaíso. (s. f.). *Pontificia universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería en construcción*. Recuperado el 18 de octubre de 2013, de [http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/03\\_clases\\_catedra/clases\\_catedra\\_ms1/05\\_terzaghi\\_3.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/05_terzaghi_3.pdf)
- TERZAGHI, K., & PECK B., R. (1958). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. Buenos Aires, Argentina: EL ATENEO.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

TERZAGUI, K., PECK, R., & MESRI, G. (1996). Compressibility of confined layer of soils. En S. M. practice.

Universidad de Chile. (2007). *U - cursos*. Obtenido de U - cursos.

Universidad Católica del Norte. (s.f.). *Universidad Católica del Norte*. Recuperado el 6 de junio de 2013, de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica8.htm>

Universidad de Chile. (2007). *U-Cursos*. Recuperado el 24 de Octubre de 2013, de U-Cursos.

Universidad de la República. (2008). *TABLAS Y ÁBACOS, Facultad de ingeniería e introducción a la mecánica de suelos*. Montevideo, Uruguay.

Universidad Nacional de Colombia. (s.f.).

Universidad Nacional de Medellín. (s.f.). *Ensayo de Corte directo*. Medellín.

Universidad Nacional de Rosario. (s. f.). *Universidad de Rosario - Facultad de ciencias exactas Ingeniería y agrimensura*. Obtenido de [http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Consolidacion%20unidim%20de%20suelos\\_2011s2.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Consolidacion%20unidim%20de%20suelos_2011s2.pdf)

USGBC. (s. f.). *United States Green Building Council*. Recuperado el 21 de Agosto de 2012, de United States Green Building Council: <https://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=10716>

Villalaz, C. C. (s. f.). Esfuerzo de corte en los suelos. En C. C. Villalaz, *Mecánica de suelos y cimentaciones* (pág. 163). n. r.: Imusa.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



## ANEXOS

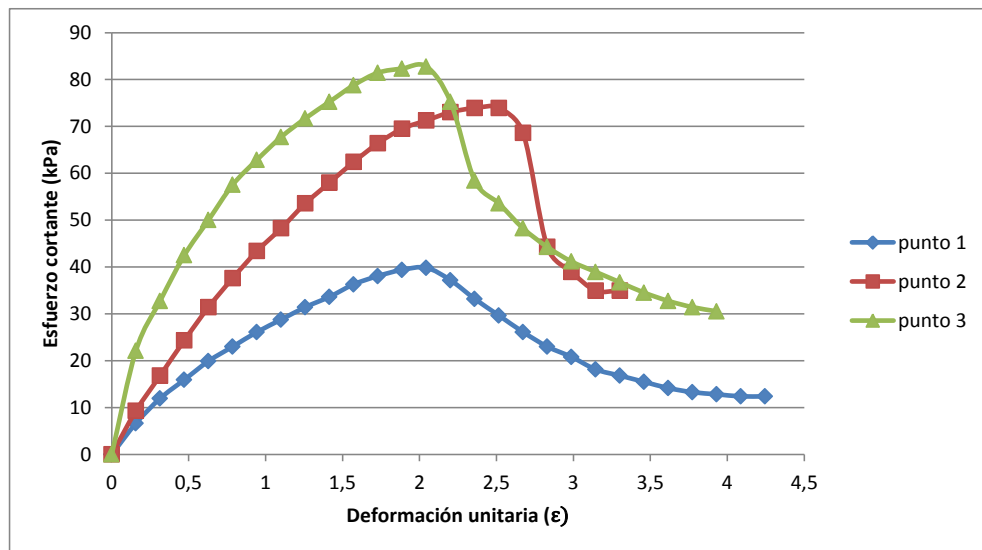
Los resultados de cada ensayo se muestran a continuación en los anexos, primero se muestran los 3 ensayos de cada cilindro bajo las cargas normales aplicadas en una sola tabla, acto seguido se muestra la gráfica de esfuerzo deformación y por último la envolvente de falla de este cilindro.

Anexos 1. Resultados de muestra testigo.

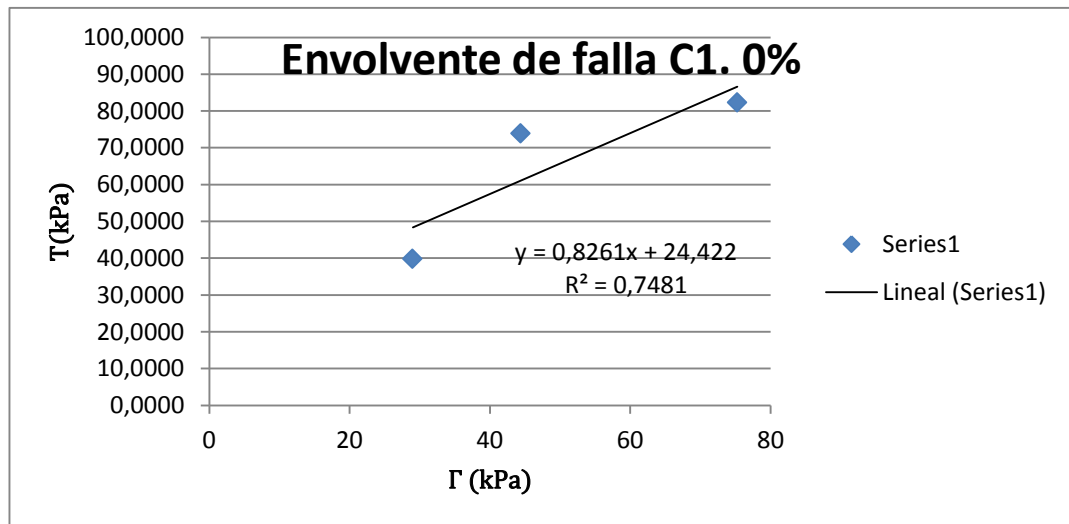
**Anexo 1. Tabla cilindro 1 muestra testigo.**

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	6,64	0,16	9,30	0,16	22,13
0,31	11,95	0,31	16,82	0,31	32,76
0,47	15,94	0,47	24,35	0,47	42,50
0,63	19,92	0,63	31,43	0,63	50,02
0,79	23,02	0,79	37,63	0,79	57,55
0,94	26,12	0,94	43,38	0,94	62,86
1,10	28,77	1,10	48,25	1,10	67,73
1,26	31,43	1,26	53,56	1,26	71,71
1,42	33,64	1,42	57,99	1,42	75,25
1,57	36,30	1,57	62,42	1,57	78,79
1,73	38,07	1,73	66,40	1,73	81,45
1,89	39,40	1,89	69,50	1,89	82,34
2,04	39,84	2,04	71,27	2,04	82,78
2,20	37,18	2,20	73,04	2,20	75,25
2,36	33,20	2,36	73,92	2,36	58,43
2,52	29,66	2,52	73,92	2,52	53,56
2,67	26,12	2,67	68,61	2,67	48,25
2,83	23,02	2,83	44,27	2,83	44,27
2,99	20,81	2,99	38,95	2,99	41,17
3,14	18,15	3,14	34,97	3,14	38,95
3,30	16,82	3,30	34,97	3,30	36,74
3,46	15,49			3,46	34,53
3,62	14,17			3,62	32,76
3,77	13,28			3,77	31,43
3,93	12,84			3,93	30,54
4,09	12,39				
4,25	12,39				

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Anexo 2. Gráfica de esfuerzo deformación cilindro 1 muestra testigo.

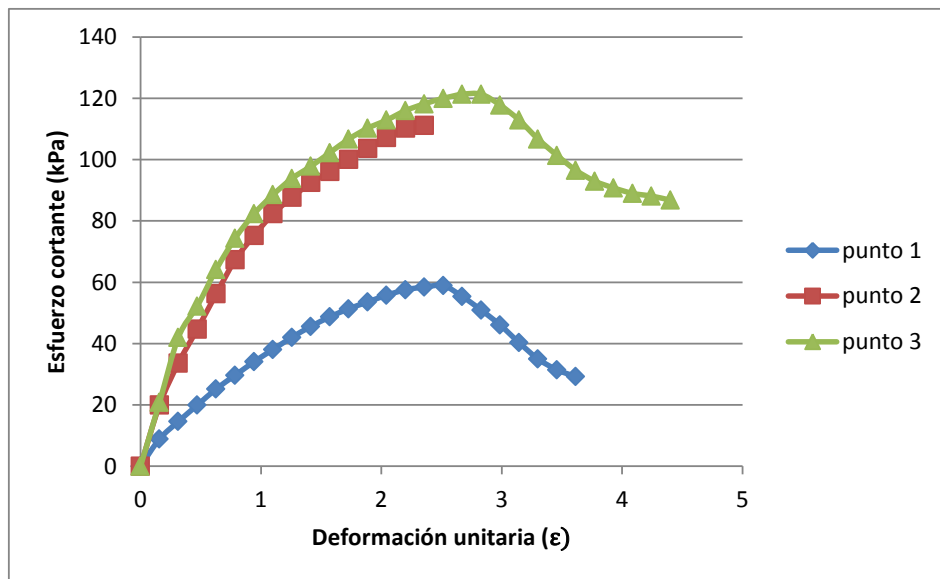


Anexo 3. Envolvente de falla cilindro 1 muestra testigo.

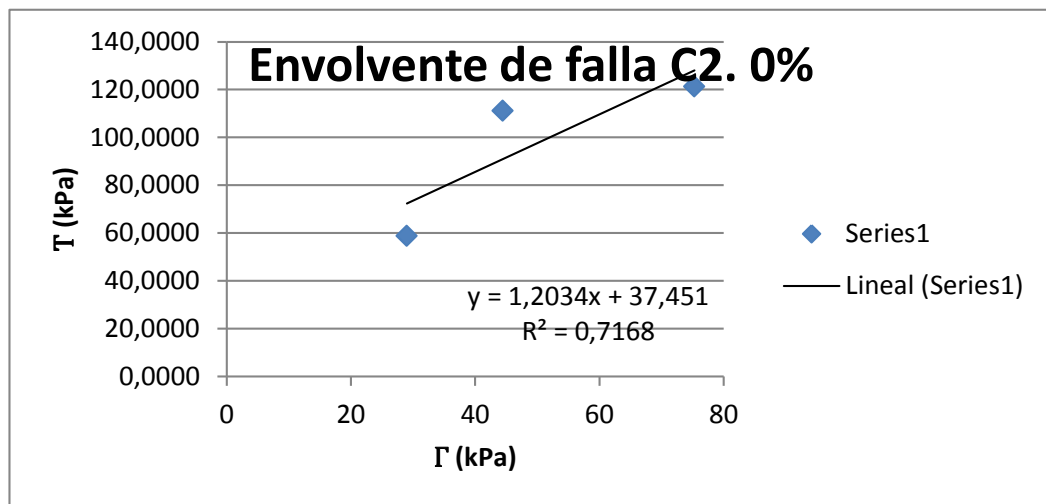
#### Anexo 4. Tabla cilindro 2 muestra testigo.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	8,85	0,16	19,92	0,16	20,81
0,31	14,61	0,31	33,64	0,31	42,05
0,47	19,92	0,47	44,71	0,47	52,23
0,63	25,23	0,63	56,22	0,63	64,19
0,79	29,66	0,79	67,28	0,79	74,37
0,94	34,09	0,94	75,25	0,94	82,34
1,10	38,07	1,10	82,34	1,10	88,53
1,26	42,05	1,26	87,65	1,26	93,84
1,42	45,59	1,42	92,52	1,42	97,83
1,57	48,69	1,57	96,06	1,57	102,26
1,73	51,35	1,73	100,04	1,73	106,68
1,89	53,56	1,89	103,58	1,89	110,22
2,04	55,78	2,04	107,12	2,04	112,88
2,20	57,55	2,20	110,22	2,20	115,98
2,36	58,43	2,36	111,11	2,36	118,19
2,52	58,87			2,52	119,96
2,67	55,33			2,67	121,29
2,83	50,91			2,83	121,29
2,99	46,04			2,99	117,75
3,14	40,28			3,14	112,88
3,30	34,97			3,30	106,68
3,46	31,43			3,46	101,37
3,62	29,22			3,62	96,50
				3,77	92,96
				3,93	90,75
				4,09	88,98
				4,25	88,09
				4,40	86,76

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



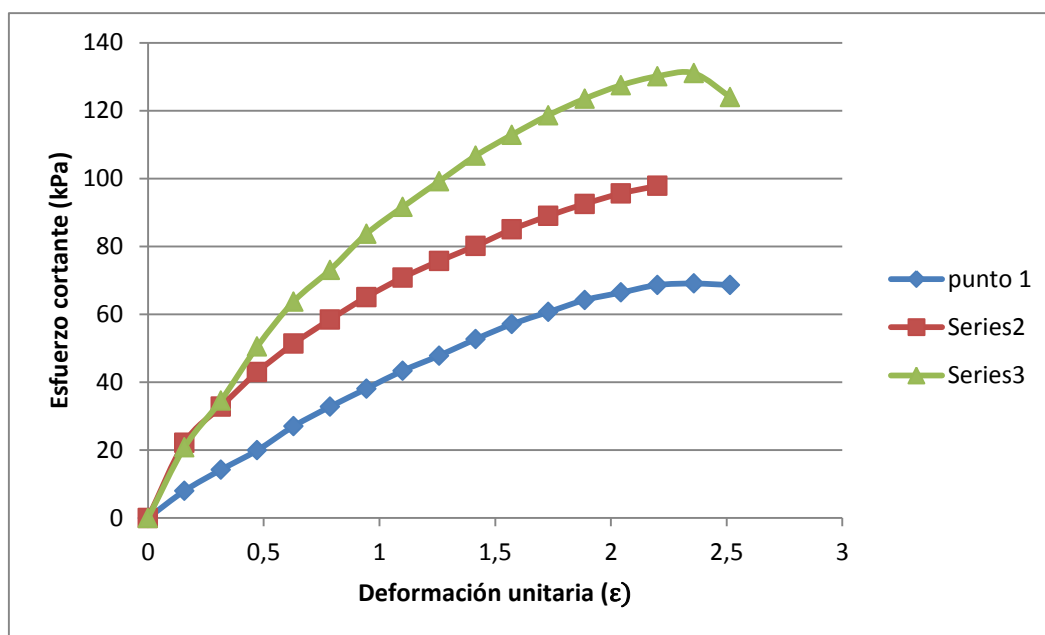
**Anexo 5. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 2 muestra testigo.**



**Anexo 6. Envolvente de falla cilindro 2 muestra testigo.**

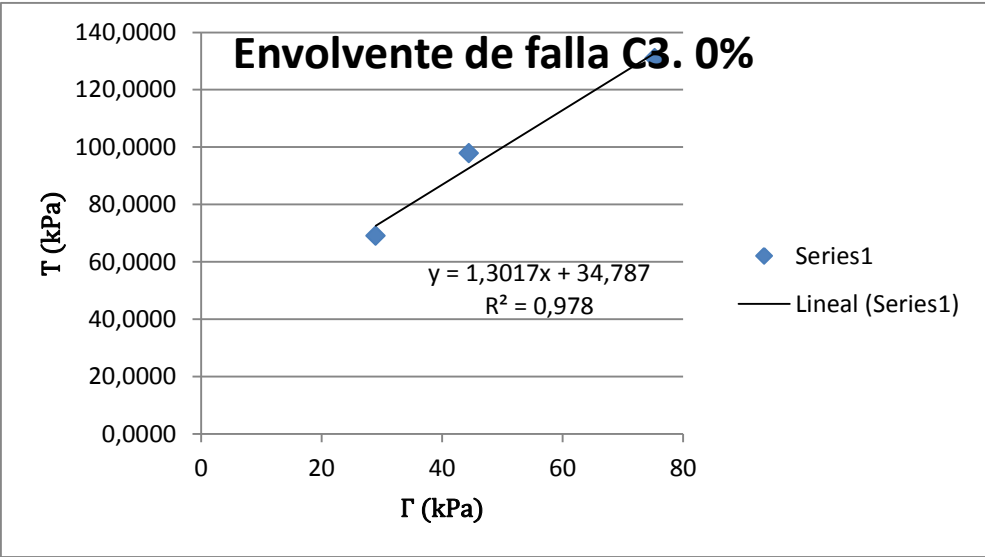
### Anexo 7. Tabla cilindro 3 muestra testigo.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	7,97	0,16	22,13	0,16	20,81
0,31	14,17	0,31	32,76	0,31	34,53
0,47	19,92	0,47	42,94	0,47	50,46
0,63	27,00	0,63	51,35	0,63	63,74
0,79	32,76	0,79	58,43	0,79	73,04
0,94	38,07	0,94	65,07	0,94	83,66
1,10	43,38	1,10	70,83	1,10	91,63
1,26	47,81	1,26	75,70	1,26	99,16
1,42	52,68	1,42	80,12	1,42	106,68
1,57	57,10	1,57	84,99	1,57	112,88
1,73	60,64	1,73	88,98	1,73	118,63
1,89	64,19	1,89	92,52	1,89	123,50
2,04	66,40	2,04	95,62	2,04	127,49
2,20	68,61	2,20	97,83	2,20	130,14
2,36	69,06			2,36	131,03
2,52	68,61			2,52	123,95



### Anexo 8. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 3 muestra testigo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

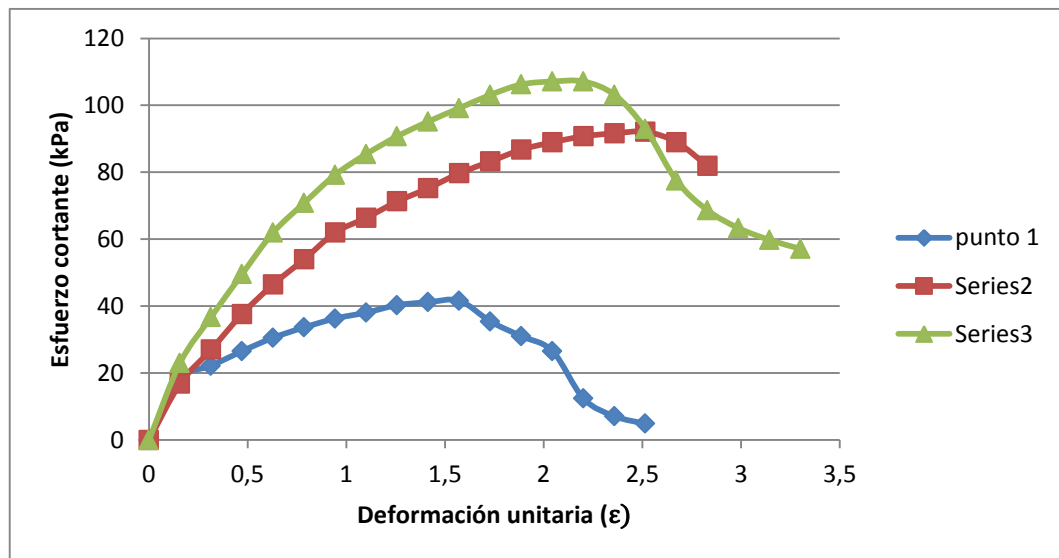


**Anexo 9. Envolvente de falla cilindro 3 muestra testigo.**

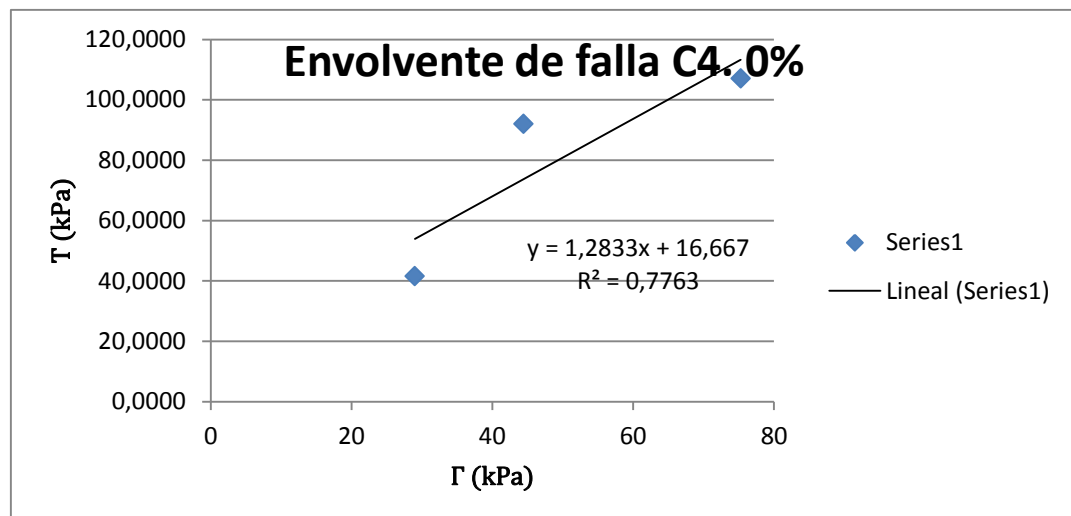
**Anexo 10. Tabla cilindro 4 muestra testigo.**

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	18,15	0,16	16,82	0,16	23,02
0,31	22,13	0,31	27,00	0,31	36,74
0,47	26,56	0,47	37,63	0,47	49,58
0,63	30,54	0,63	46,48	0,63	61,97
0,79	33,64	0,79	54,00	0,79	70,83
0,94	36,30	0,94	61,97	0,94	79,24
1,10	38,07	1,10	66,40	1,10	85,43
1,26	40,28	1,26	71,27	1,26	90,75
1,42	41,17	1,42	75,25	1,42	95,17
1,57	41,61	1,57	79,68	1,57	99,16
1,73	35,41	1,73	83,22	1,73	103,14
1,89	30,99	1,89	86,76	1,89	106,24
2,04	26,56	2,04	88,98	2,04	107,12
2,20	12,39	2,20	90,75	2,20	107,12
2,36	7,08	2,36	91,63	2,36	103,14
2,52	4,87	2,52	92,07	2,52	92,96
		2,67	88,98	2,67	77,47
		2,83	81,89	2,83	68,61
				2,99	63,30
				3,14	59,76
				3,30	57,10

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Anexo 11. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 4 muestra testigo.**



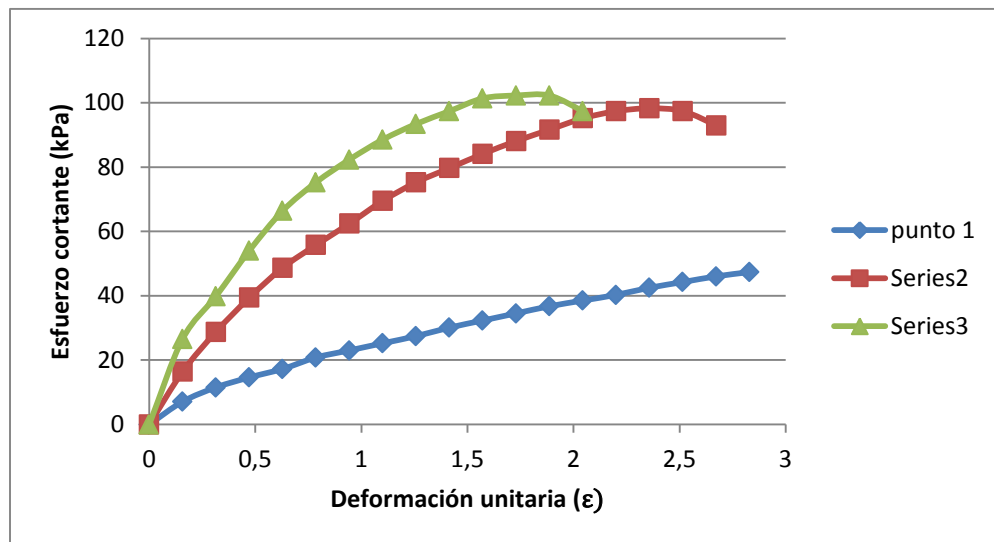
**Anexo 12. Envolvente de falla cilindro 4 muestra testigo.**

### Anexo 13. Tabla cilindro 5 muestra testigo.

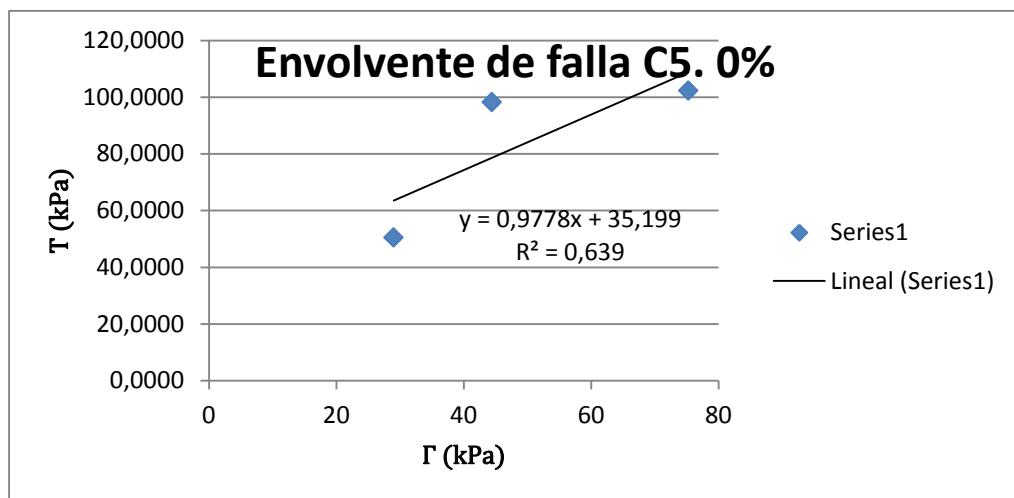
PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	7,08	0,16	16,38	0,16	26,56
0,31	11,51	0,31	28,77	0,31	39,84
0,47	14,61	0,47	39,40	0,47	54,00
0,63	17,26	0,63	48,69	0,63	66,40
0,79	20,81	0,79	55,78	0,79	75,25
0,94	23,02	0,94	62,42	0,94	82,34
1,10	25,23	1,10	69,50	1,10	88,53
1,26	27,45	1,26	75,25	1,26	93,40
1,42	30,10	1,42	79,68	1,42	97,39
1,57	32,31	1,57	84,11	1,57	101,37
1,73	34,53	1,73	88,09	1,73	102,26
1,89	36,74	1,89	91,63	1,89	102,26
2,04	38,51	2,04	95,17	2,04	97,39
2,20	40,28	2,20	97,39		
2,36	42,50	2,36	98,27		
2,52	44,27	2,52	97,39		
2,67	46,04	2,67	92,96		
2,83	47,37				
2,99	48,69				
3,14	50,02				
3,30	50,46				
3,46	50,02				
3,62	49,14				
3,77	47,81				
3,93	46,48				
4,09	44,71				
4,25	42,05				

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.





**Anexo 14. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 5 muestra testigo.**



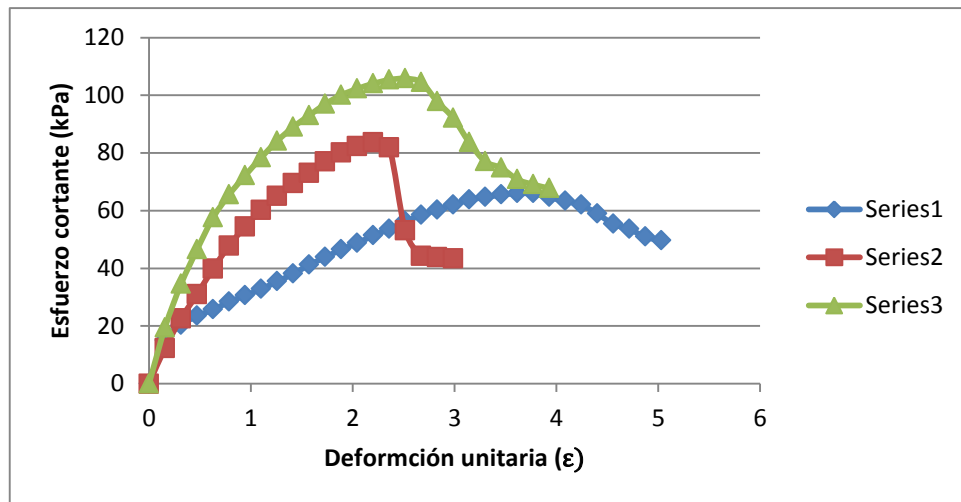
**Anexo 15. Envolvente de falla cilindro 5 muestra testigo.**

Anexos 2. Resultados muestras del 4 %.

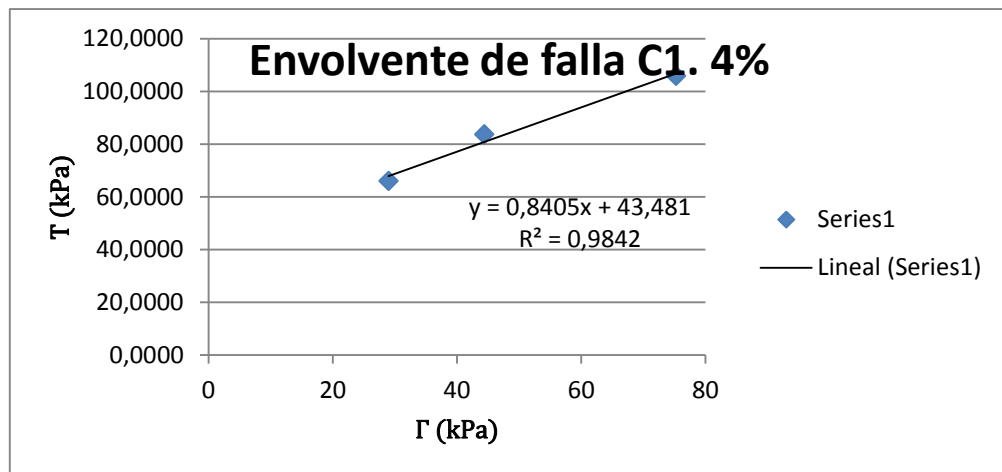
### Anexo 16. Tabla cilindro 1 muestra de 4 %.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	15,05	0,16	12,39	0,16	19,48
0,31	20,36	0,31	22,58	0,31	34,53
0,47	23,46	0,47	30,99	0,47	46,48
0,63	25,67	0,63	39,84	0,63	57,55
0,79	28,33	0,79	47,81	0,79	65,51
0,94	30,54	0,94	54,45	0,94	72,15
1,10	32,76	1,10	60,20	1,10	78,35
1,26	35,41	1,26	65,07	1,26	84,11
1,42	38,07	1,42	69,50	1,42	88,98
1,57	41,17	1,57	73,04	1,57	92,96
1,73	43,82	1,73	77,02	1,73	96,94
1,89	46,48	1,89	80,12	1,89	100,04
2,04	48,69	2,04	82,34	2,04	102,26
2,20	51,35	2,20	83,66	2,20	104,03
2,36	53,56	2,36	81,89	2,36	105,35
2,52	56,22	2,52	53,12	2,52	105,80
2,67	58,43	2,67	44,27	2,67	104,47
2,83	60,20	2,83	43,82	2,83	97,83
2,99	61,97	2,99	43,38	2,99	92,07
3,14	63,74			3,14	83,66
3,30	64,63			3,30	77,02
3,46	65,51			3,46	74,81
3,62	65,96			3,62	70,83
3,77	65,96			3,77	69,06
3,93	64,63			3,93	67,73
4,09	63,30				
4,25	61,97				
4,40	58,87				
4,56	55,33				
4,72	53,56				
4,87	50,91				
5,03	49,58				

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Anexo 17. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 1 muestra 4 %.**

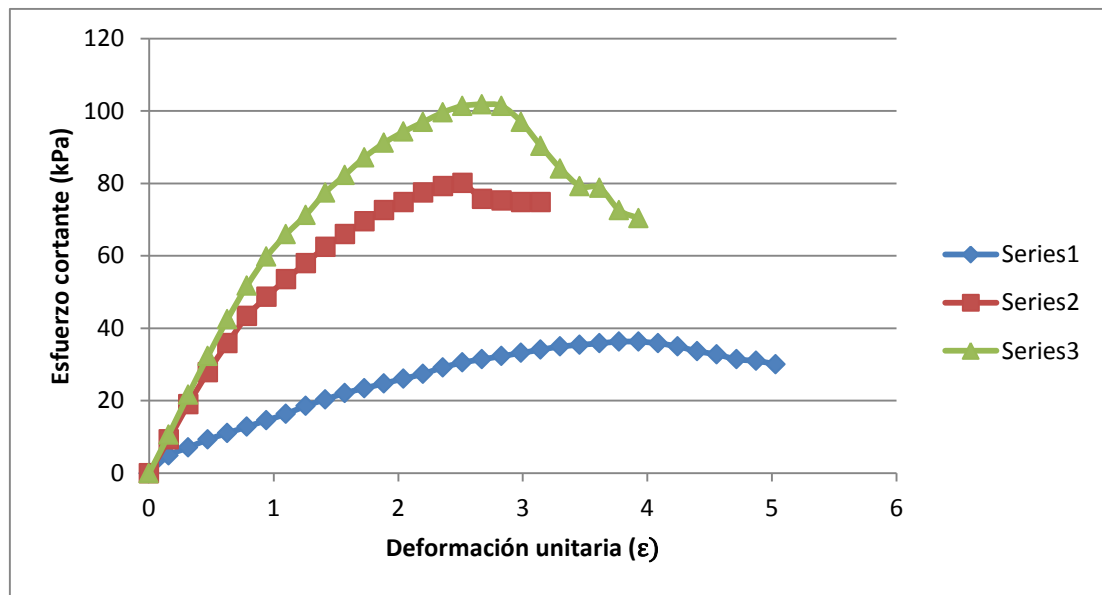


**Anexo 18. Envolvente de falla cilindro 1 muestra 4 %.**

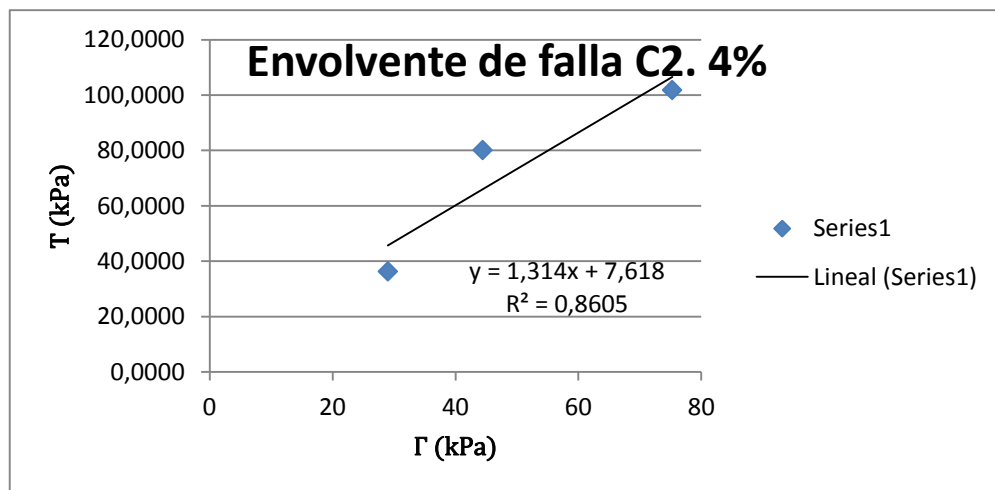
### Anexo 19. Tabla cilindro 2 muestra 4%.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	4,87	0,16	9,30	0,16	10,62
0,31	7,08	0,31	19,03	0,31	21,69
0,47	9,30	0,47	27,89	0,47	32,31
0,63	11,07	0,63	35,86	0,63	42,50
0,79	12,84	0,79	43,38	0,79	51,79
0,94	14,61	0,94	48,69	0,94	59,76
1,10	16,38	1,10	53,56	1,10	65,96
1,26	18,59	1,26	57,99	1,26	71,27
1,42	20,36	1,42	62,42	1,42	77,47
1,57	22,13	1,57	65,96	1,57	82,34
1,73	23,46	1,73	69,50	1,73	87,20
1,89	24,79	1,89	72,60	1,89	91,19
2,04	26,12	2,04	74,81	2,04	94,29
2,20	27,45	2,20	77,47	2,20	96,94
2,36	29,22	2,36	79,24	2,36	99,60
2,52	30,54	2,52	80,12	2,52	101,37
2,67	31,43	2,67	75,70	2,67	101,81
2,83	32,31	2,83	75,25	2,83	101,37
2,99	33,20	2,99	74,81	2,99	96,94
3,14	34,09	3,14	74,81	3,14	90,30
3,30	34,97			3,30	84,11
3,46	35,41			3,46	79,24
3,62	35,86			3,62	78,79
3,77	36,30			3,77	72,60
3,93	36,30			3,93	70,38
4,09	35,86				
4,25	34,97				
4,40	33,64				
4,56	32,76				
4,72	31,43				
4,87	30,99				
5,03	30,10				

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



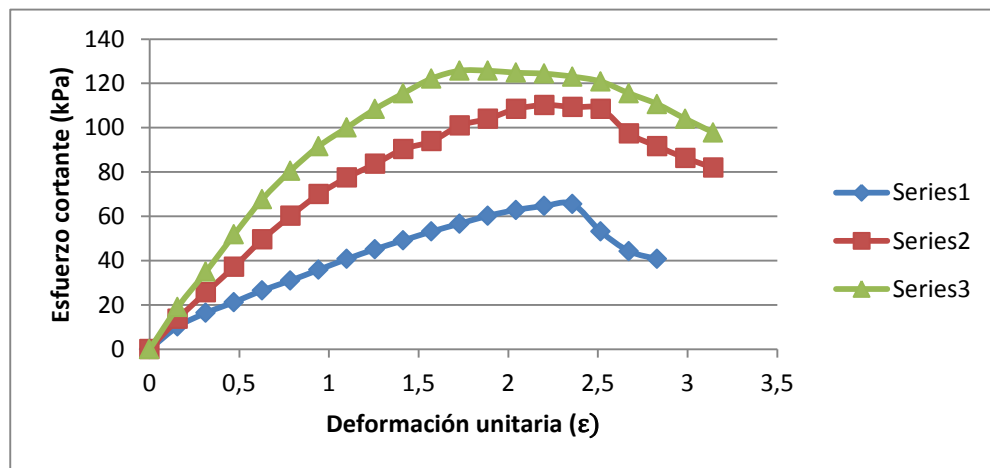
**Anexo 20. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 2 muestra 4 %.**



**Anexo 21. Envolvente de falla cilindro 2 muestra 4 %.**

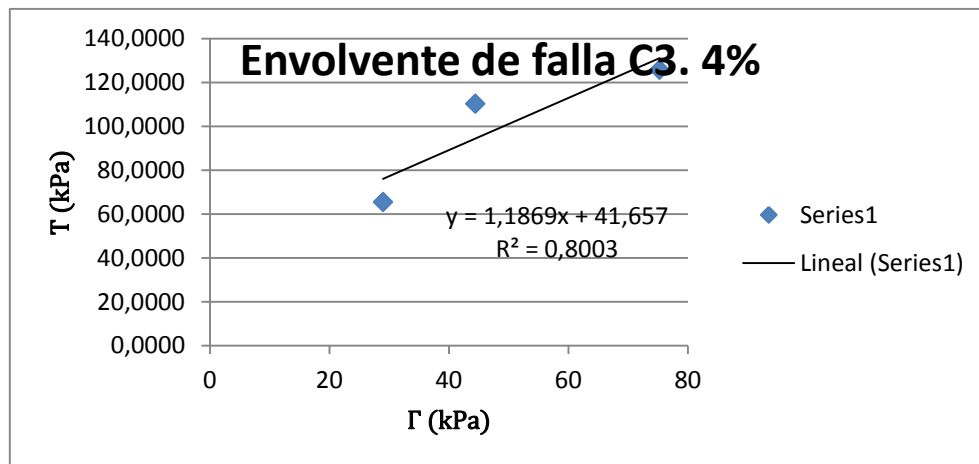
## Anexo 22. Tabla cilindro 3 muestra 4 %.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	10,18	0,16	13,72	0,16	19,03
0,31	16,38	0,31	25,67	0,31	34,97
0,47	21,25	0,47	37,18	0,47	51,79
0,63	26,56	0,63	49,58	0,63	67,73
0,79	30,99	0,79	60,20	0,79	80,56
0,94	35,86	0,94	69,94	0,94	91,63
1,10	40,73	1,10	77,47	1,10	100,04
1,26	45,15	1,26	83,66	1,26	108,45
1,42	49,14	1,42	90,30	1,42	115,54
1,57	53,12	1,57	93,84	1,57	122,18
1,73	56,66	1,73	100,93	1,73	125,72
1,89	60,20	1,89	104,03	1,89	125,72
2,04	62,86	2,04	108,45	2,04	124,83
2,20	64,63	2,20	110,22	2,20	124,39
2,36	65,51	2,36	109,34	2,36	123,06
2,52	53,12	2,52	108,45	2,52	120,85
2,67	44,27	2,67	97,39	2,67	115,54
2,83	40,73	2,83	91,63	2,83	110,67
		2,99	86,32	2,99	104,03
		3,14	81,89	3,14	97,83



## Anexo 23. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 3 muestra 4 %.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

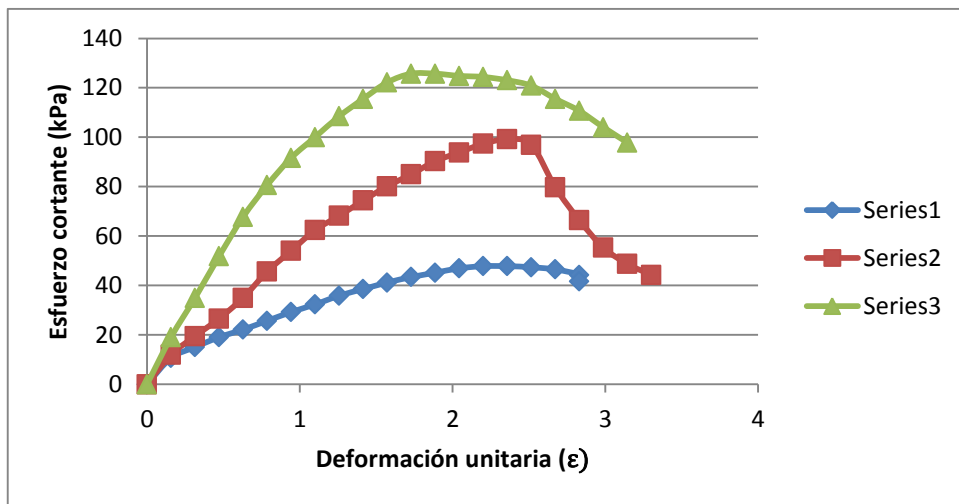


**Anexo 24. Envolvente de falla cilindro 3 muestra 4 %.**

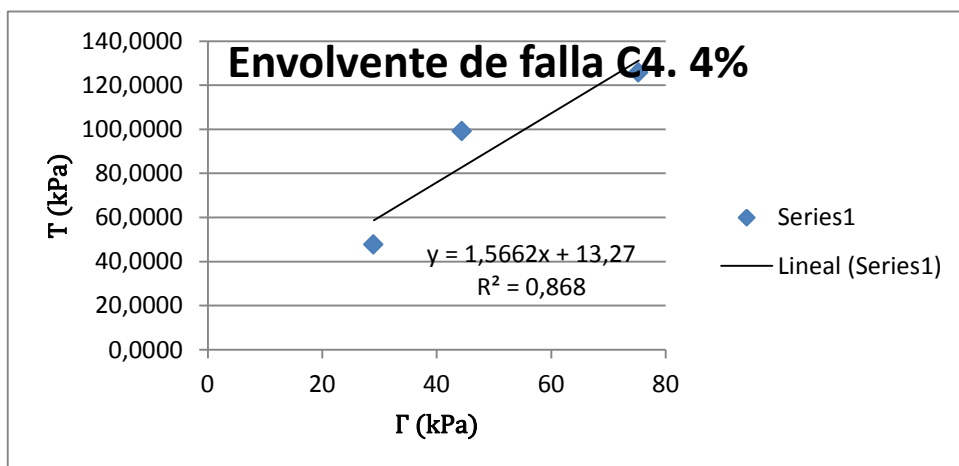
**Anexo 25. Tabla cilindro 4 muestra 4 %.**

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	10,62	0,16	11,95	0,16	19,03
0,31	15,05	0,31	19,48	0,31	34,97
0,47	19,03	0,47	26,56	0,47	51,79
0,63	22,13	0,63	34,97	0,63	67,73
0,79	25,67	0,79	45,59	0,79	80,56
0,94	29,22	0,94	54,00	0,94	91,63
1,10	32,31	1,10	62,42	1,10	100,04
1,26	35,86	1,26	68,17	1,26	108,45
1,42	38,51	1,42	74,37	1,42	115,54
1,57	41,17	1,57	80,12	1,57	122,18
1,73	43,38	1,73	84,99	1,73	125,72
1,89	45,15	1,89	90,30	1,89	125,72
2,04	46,92	2,04	93,84	2,04	124,83
2,20	47,81	2,20	97,39	2,20	124,39
2,36	47,81	2,36	99,16	2,36	123,06
2,52	47,37	2,52	96,94	2,52	120,85
2,67	46,48	2,67	79,68	2,67	115,54
2,83	44,27	2,83	66,40	2,83	110,67
2,99	41,61	2,99	55,33	2,99	104,03
		3,14	48,69	3,14	97,83
		3,30	44,27		
		3,46	41,61		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Anexo 26. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 4 muestra 4 %.**

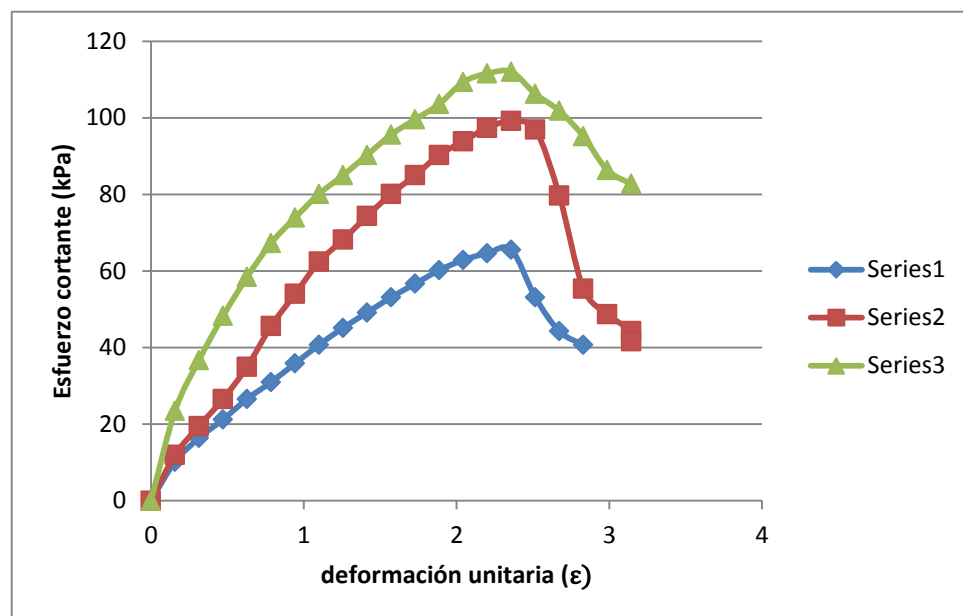


**Anexo 27. Envolvente de falla cilindro 4 muestra 4 %.**



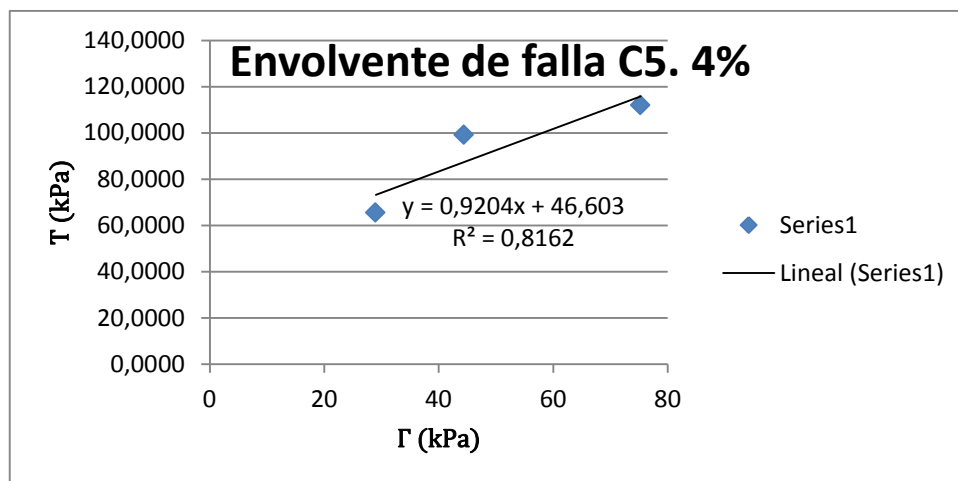
### Anexo 28. Tabla cilindro 5 muestra 4 %.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	10,18	0,16	11,95	0,16	23,46
0,31	16,38	0,31	19,48	0,31	36,74
0,47	21,25	0,47	26,56	0,47	48,25
0,63	26,56	0,63	34,97	0,63	58,43
0,79	30,99	0,79	45,59	0,79	67,28
0,94	35,86	0,94	54,00	0,94	73,92
1,10	40,73	1,10	62,42	1,10	80,12
1,26	45,15	1,26	68,17	1,26	84,99
1,42	49,14	1,42	74,37	1,42	90,30
1,57	53,12	1,57	80,12	1,57	95,62
1,73	56,66	1,73	84,99	1,73	99,60
1,89	60,20	1,89	90,30	1,89	103,58
2,04	62,86	2,04	93,84	2,04	109,34
2,20	64,63	2,20	97,39	2,20	111,55
2,36	65,51	2,36	99,16	2,36	111,99
2,52	53,12	2,52	96,94	2,52	106,24
2,67	44,27	2,67	79,68	2,67	101,81
2,83	40,73	2,83	55,33	2,83	95,17
		2,99	48,69	2,99	86,32
		3,14	44,27	3,14	82,78
		3,14	41,61		



### Anexo 29. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 5 muestra 4 %.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



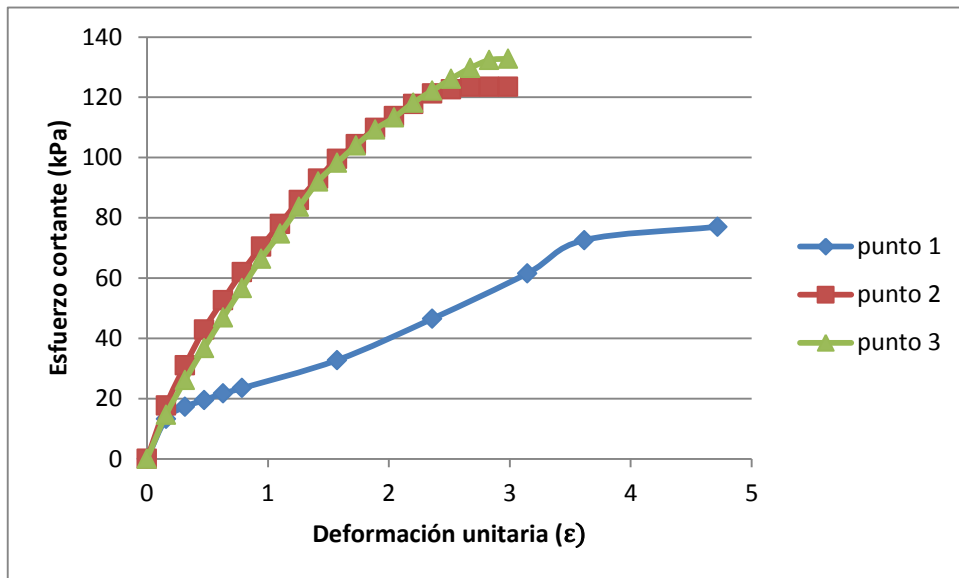
**Anexo 30. Envolvente de falla cilindro 5 muestra 4 %.**

Anexos 3. Resultados muestras 8 %.

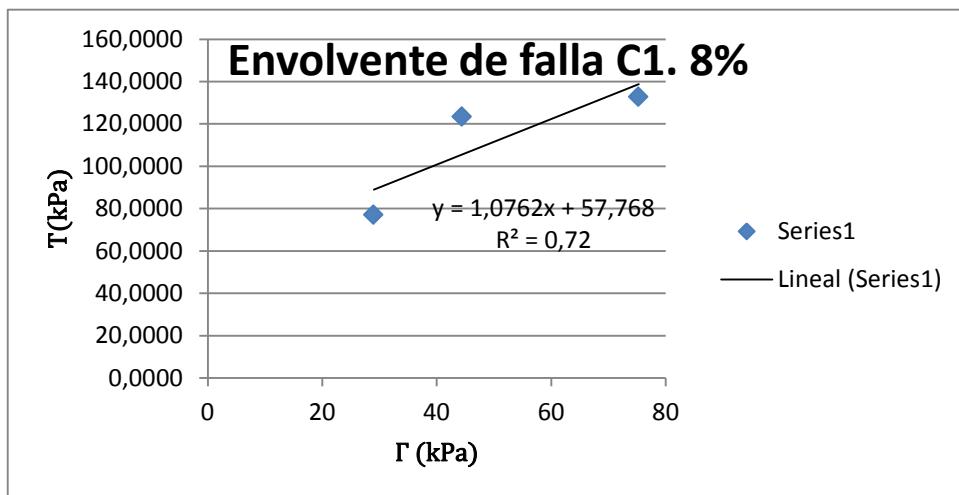
**Anexo 31. Tabla cilindro 1 muestra 8 %.**

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	13,28	0,16	17,71	0,16	14,61
0,31	17,26	0,31	30,99	0,31	26,12
0,47	19,48	0,47	42,94	0,47	36,74
0,63	21,69	0,63	52,68	0,63	46,92
0,79	23,46	0,79	61,97	0,79	56,66
1,57	32,76	0,94	70,38	0,94	66,40
2,36	46,48	1,10	77,91	1,10	74,81
3,14	61,53	1,26	85,88	1,26	83,66
3,62	72,60	1,42	92,96	1,42	92,07
4,72	77,02	1,57	99,60	1,57	98,27
		1,73	104,47	1,73	104,03
		1,89	109,78	1,89	109,34
		2,04	113,76	2,04	113,32
		2,20	117,75	2,20	118,19
		2,36	121,29	2,36	122,18
		2,52	122,62	2,52	126,16
		2,67	123,50	2,67	129,70
		2,83	123,50	2,83	132,36
		2,99	123,50	2,99	132,80

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Anexo 32. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 1 muestra 8 %.

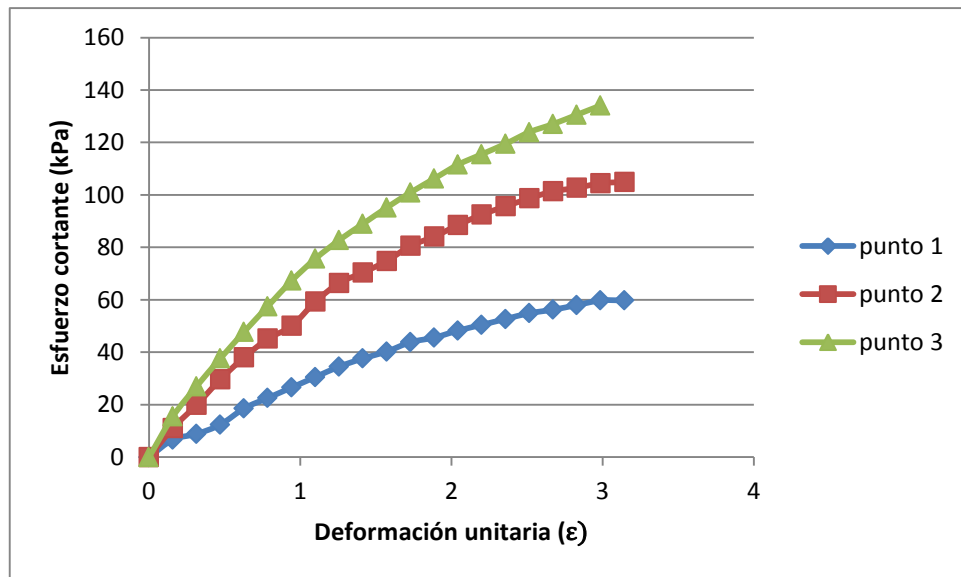


Anexo 33. Envolvente de falla cilindro 1 muestra 8 %.

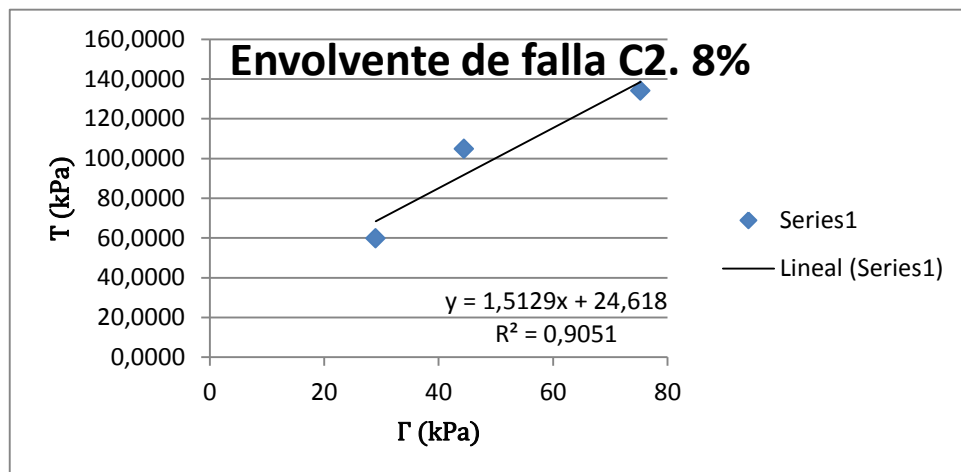
### Anexo 34. Tabla cilindro 2 muestra 8 %.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	6,64	0,16	11,07	0,16	15,49
0,31	8,85	0,31	19,92	0,31	27,00
0,47	12,39	0,47	29,66	0,47	37,63
0,63	18,59	0,63	38,07	0,63	47,81
0,79	22,58	0,79	45,15	0,79	57,55
0,94	26,56	0,94	50,02	0,94	67,28
1,10	30,54	1,10	59,32	1,10	75,70
1,26	34,53	1,26	66,40	1,26	82,78
1,42	37,63	1,42	70,38	1,42	88,98
1,57	40,28	1,57	74,81	1,57	95,17
1,73	43,82	1,73	80,56	1,73	100,93
1,89	45,59	1,89	84,11	1,89	106,24
2,04	48,25	2,04	88,53	2,04	111,55
2,20	50,46	2,20	92,52	2,20	115,54
2,36	52,68	2,36	95,62	2,36	119,52
2,52	54,89	2,52	98,71	2,52	123,95
2,67	56,22	2,67	101,37	2,67	127,04
2,83	57,99	2,83	102,70	2,83	130,59
2,99	59,76	2,99	104,47	2,99	134,13
3,14	59,76	3,14	104,91		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Anexo 35. Gráfica de esfuerzo deformación cilindro 2 muestra 8 %.

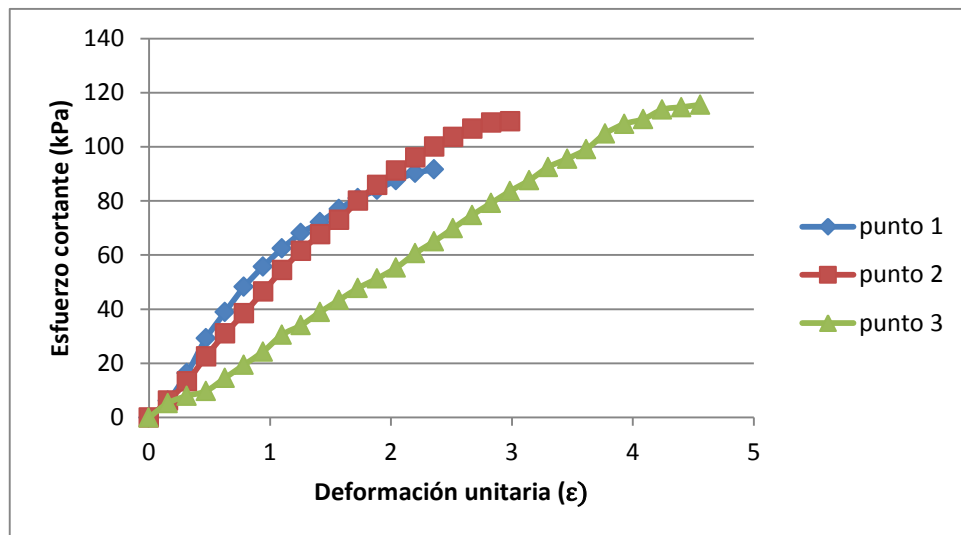


Anexo 36. Envolvente de falla cilindro 2 muestra 8 %.

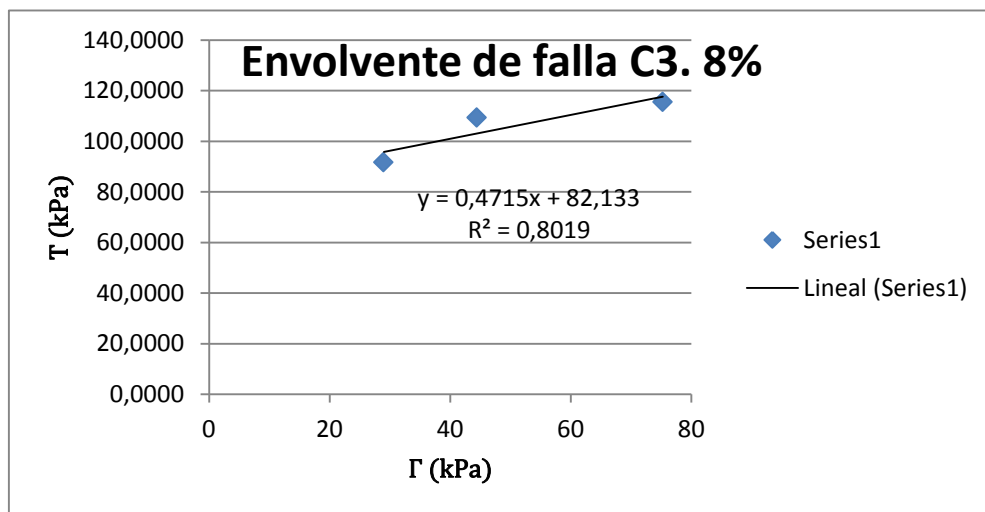
### Anexo 37. Tabla cilindro 3 muestra 8 %.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	6,20	0,16	6,20	0,16	5,31
0,31	16,38	0,31	13,28	0,31	7,97
0,47	29,22	0,47	22,58	0,47	9,74
0,63	38,95	0,63	30,99	0,63	14,61
0,79	48,25	0,79	38,51	0,79	19,48
0,94	55,78	0,94	46,48	0,94	24,35
1,10	62,42	1,10	54,45	1,10	30,54
1,26	68,17	1,26	61,53	1,26	34,09
1,42	72,15	1,42	67,73	1,42	38,95
1,57	77,02	1,57	73,04	1,57	43,38
1,73	81,01	1,73	80,12	1,73	47,81
1,89	84,11	1,89	85,88	1,89	51,35
2,04	87,65	2,04	91,19	2,04	55,33
2,20	90,30	2,20	96,06	2,20	60,64
2,36	91,63	2,36	100,04	2,36	65,07
		2,52	103,58	2,52	69,94
		2,67	106,68	2,67	74,81
		2,83	108,90	2,83	79,24
		2,99	109,34	2,99	83,66
				3,14	87,65
				3,30	92,52
				3,46	95,62
				3,62	99,16
				3,77	104,91
				3,93	108,45
				4,09	110,22
				4,25	113,76
				4,40	114,65
				4,56	115,54

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Anexo 38. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 3 muestra 8 %.**



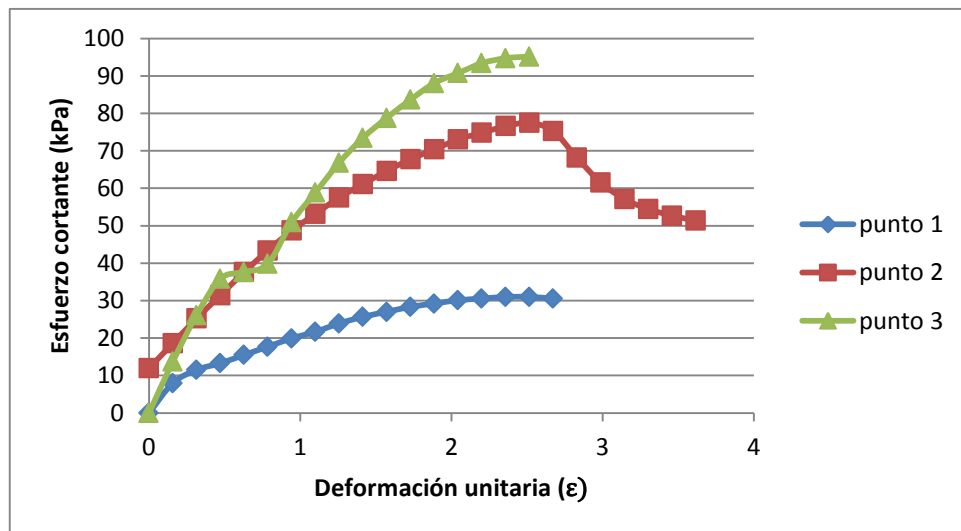
**Anexo 39. Envolvente de falla cilindro 3 muestra 8 %.**

#### Anexo 40. Tabla cilindro 4 muestra 8 %.

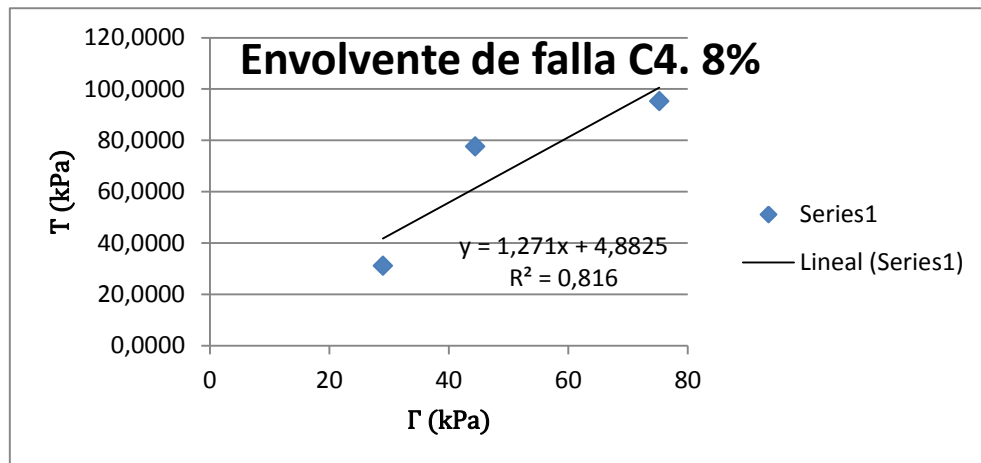
PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	7,97	0,16	11,95	0,16	13,72
0,31	11,51	0,31	18,59	0,31	26,12
0,47	13,28	0,47	25,23	0,47	35,86
0,63	15,49	0,63	31,43	0,63	37,63
0,79	17,71	0,79	37,63	0,79	39,84
0,94	19,92	0,94	43,38	0,94	50,91
1,10	21,69	1,10	48,69	1,10	58,87
1,26	23,90	1,26	53,12	1,26	66,84
1,42	25,67	1,42	57,55	1,42	73,48
1,57	27,00	1,57	61,09	1,57	78,79
1,73	28,33	1,73	64,63	1,73	83,66
1,89	29,22	1,89	67,73	1,89	88,09
2,04	30,10	2,04	70,38	2,04	90,75
2,20	30,54	2,20	73,04	2,20	93,40
2,36	30,99	2,36	74,81	2,36	94,73
2,52	30,99	2,52	76,58	2,52	95,17
2,67	30,54	2,67	77,47		
		2,83	75,25		
		2,99	68,17		
		3,14	61,53		
		3,30	57,10		
		3,46	54,45		
		3,62	52,68		
		3,77	51,35		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.





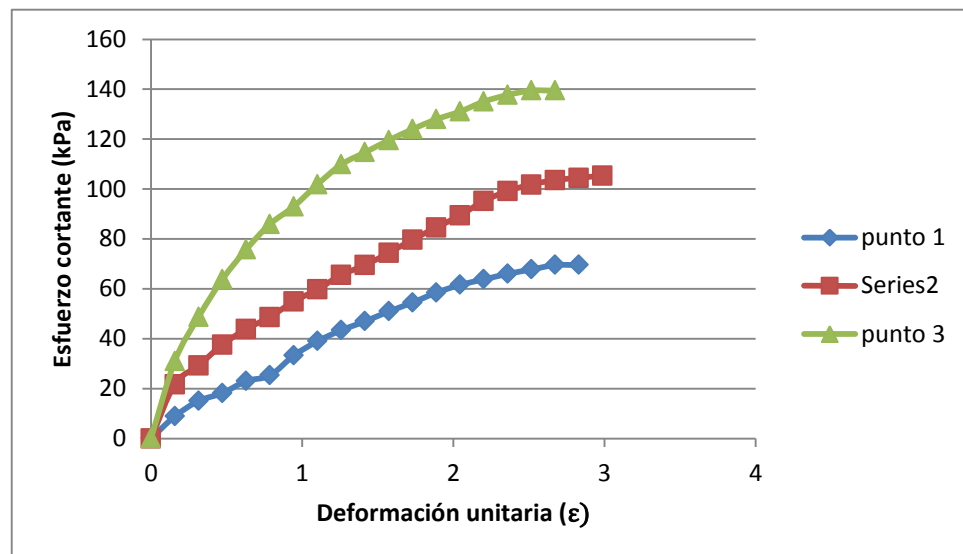
**Anexo 41. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 4 muestra 8 %.**



**Anexo 42. Envolvente de falla cilindro 4 muestra 8 %.**

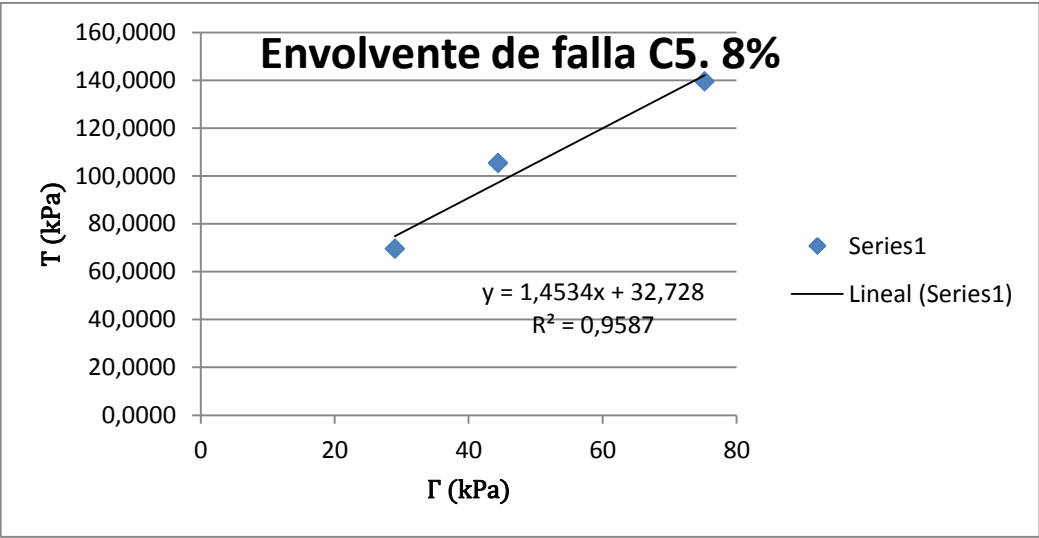
### Anexo 43. Tabla cilindro 5 muestra 8 %.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	8,85	0,16	21,69	0,16	30,99
0,31	15,05	0,31	29,22	0,31	48,69
0,47	18,15	0,47	37,63	0,47	63,74
0,63	23,02	0,63	43,82	0,63	75,70
0,79	25,23	0,79	48,69	0,79	85,88
0,94	33,20	0,94	54,89	0,94	92,96
1,10	38,95	1,10	59,76	1,10	101,81
1,26	43,38	1,26	65,51	1,26	109,78
1,42	46,92	1,42	69,50	1,42	114,65
1,57	50,91	1,57	74,37	1,57	119,52
1,73	54,45	1,73	79,68	1,73	123,95
1,89	58,43	1,89	84,55	1,89	127,93
2,04	61,53	2,04	89,42	2,04	131,03
2,20	63,74	2,20	95,17	2,20	135,01
2,36	65,96	2,36	99,16	2,36	137,67
2,52	67,73	2,52	101,81	2,52	139,44
2,67	69,50	2,67	103,58	2,67	139,44
2,83	69,50	2,83	104,47		
		2,99	105,35		



### Anexo 44. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 5 muestra 8 %.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



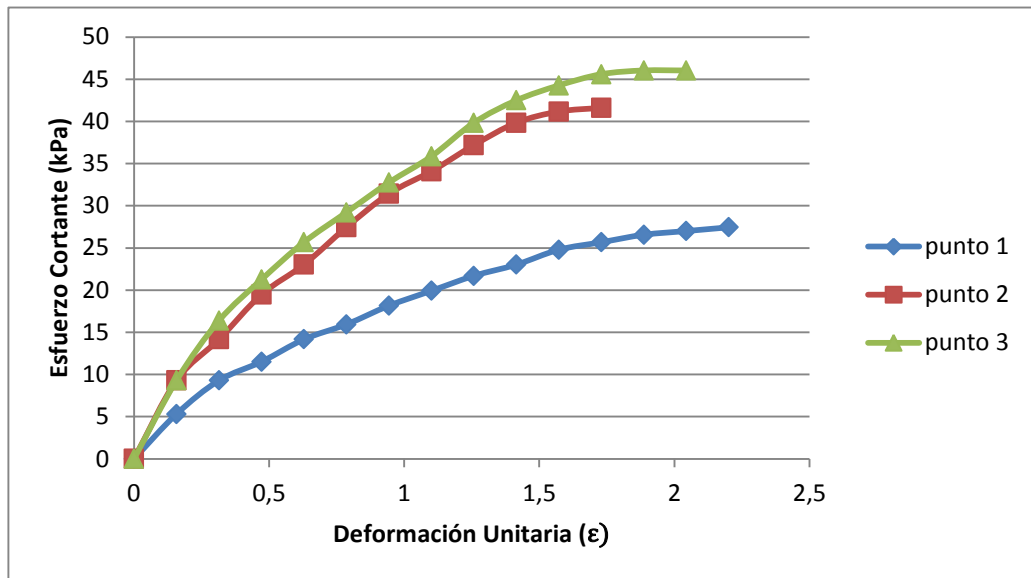
**Anexo 45. Envolvente de falla cilindro 5 muestra 8 %.**

Anexos 4. Resultado muestras 12 %.

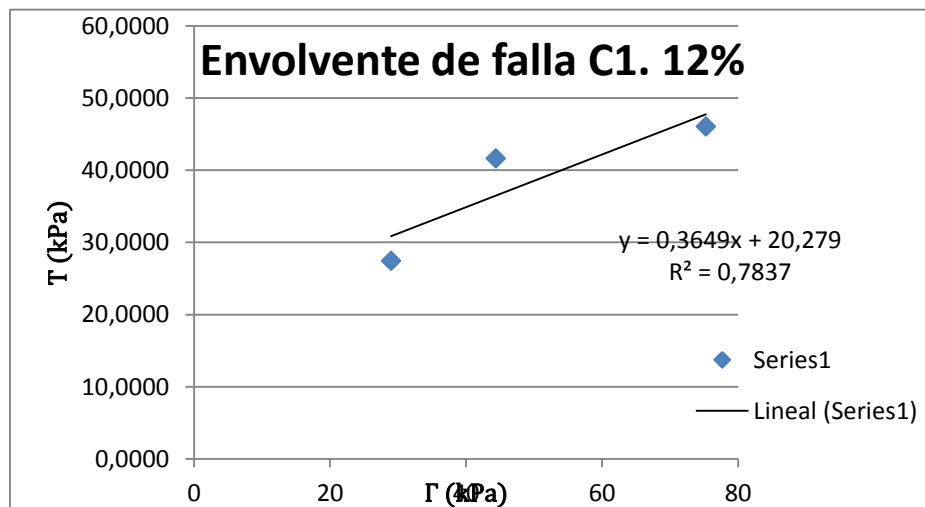
**Anexo 46. Tabla cilindro 1 muestra 12 %.**

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	5,31	0,16	9,30	0,16	9,30
0,31	9,30	0,31	14,17	0,31	16,38
0,47	11,51	0,47	19,48	0,47	21,25
0,63	14,17	0,63	23,02	0,63	25,67
0,79	15,94	0,79	27,45	0,79	29,22
0,94	18,15	0,94	31,43	0,94	32,76
1,10	19,92	1,10	34,09	1,10	35,86
1,26	21,69	1,26	37,18	1,26	39,84
1,42	23,02	1,42	39,84	1,42	42,50
1,57	24,79	1,57	41,17	1,57	44,27
1,73	25,67	1,73	41,61	1,73	45,59
1,89	26,56			1,89	46,04
2,04	27,00			2,04	46,04
2,20	27,45				

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



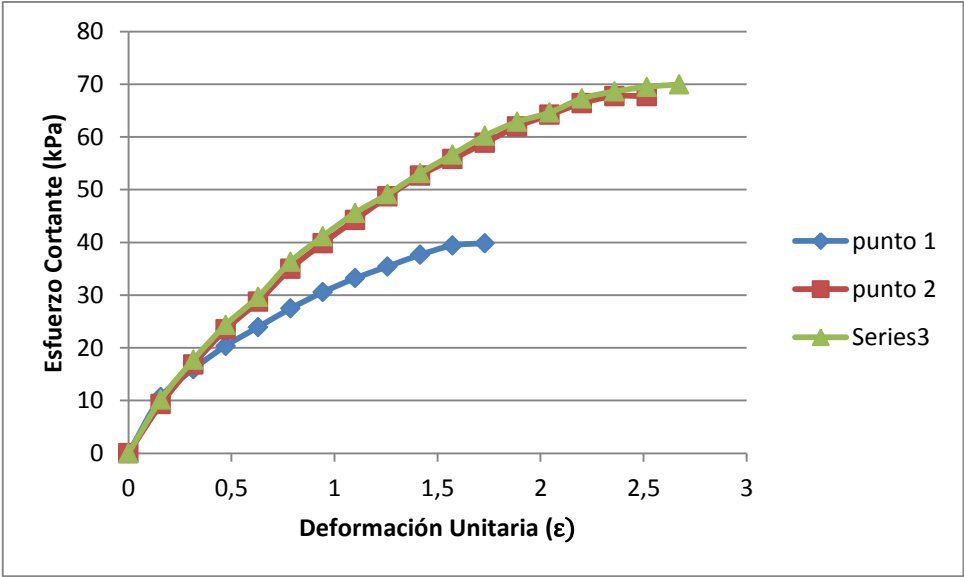
**Anexo 47. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 1 muestra 12 %.**



**Anexo 48. Envolvente de falla cilindro 1 muestra 12%.**

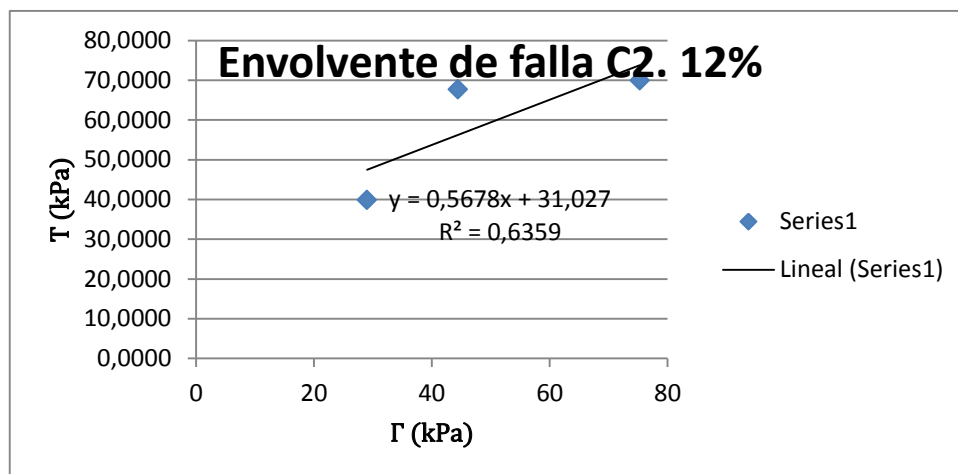
Anexo 49. Tabla cilindro 2 muestra 12 %.

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	10,62	0,16	9,30	0,16	10,18
0,31	15,94	0,31	16,82	0,31	17,71
0,47	20,36	0,47	23,46	0,47	24,35
0,63	23,90	0,63	28,77	0,63	29,66
0,79	27,45	0,79	34,97	0,79	36,30
0,94	30,54	0,94	39,84	0,94	41,17
1,10	33,20	1,10	44,27	1,10	45,59
1,26	35,41	1,26	48,69	1,26	49,14
1,42	37,63	1,42	52,68	1,42	53,12
1,57	39,40	1,57	55,78	1,57	56,66
1,73	39,84	1,73	58,87	1,73	60,20
		1,89	61,97	1,89	62,86
		2,04	64,19	2,04	64,63
		2,20	66,40	2,20	67,28
		2,36	67,73	2,36	68,61
		2,52	67,73	2,52	69,50
				2,67	69,94



Anexo 50. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 2 muestra 12 %.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

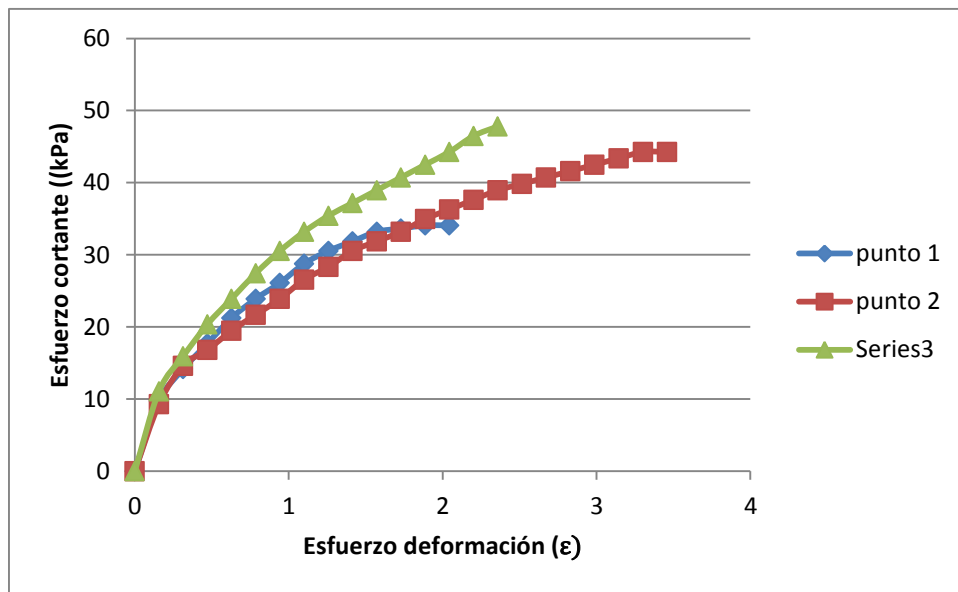


**Anexo 51. Envolvente de falla cilindro 2 muestra 12 %.**

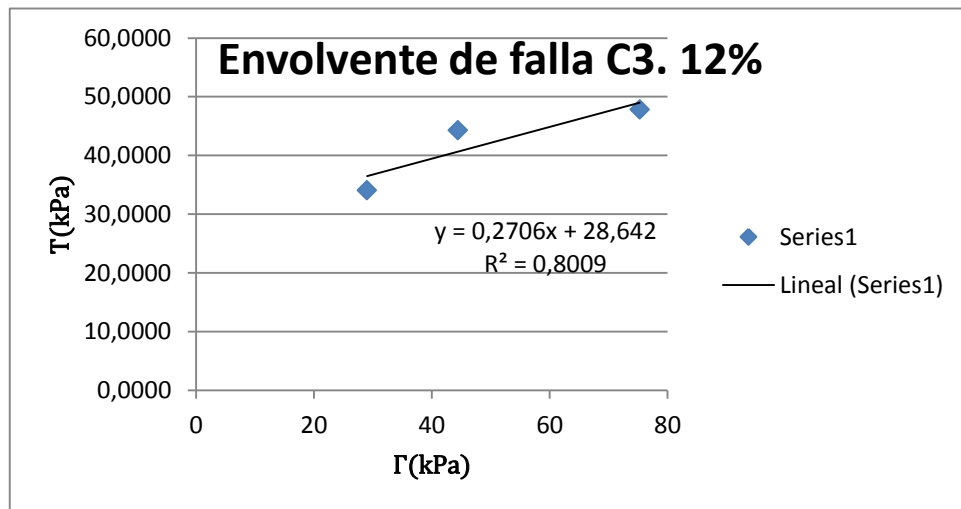
**Anexo 52. Tabla cilindro 3 muestra 12 %**

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	9,74	0,16	9,30	0,16	11,07
0,31	14,17	0,31	14,61	0,31	15,94
0,47	17,71	0,47	16,82	0,47	20,36
0,63	21,25	0,63	19,48	0,63	23,90
0,79	23,90	0,79	21,69	0,79	27,45
0,94	26,12	0,94	23,90	0,94	30,54
1,10	28,77	1,10	26,56	1,10	33,20
1,26	30,54	1,26	28,33	1,26	35,41
1,42	31,87	1,42	30,54	1,42	37,18
1,57	33,20	1,57	31,87	1,57	38,95
1,73	33,64	1,73	33,20	1,73	40,73
1,89	34,09	1,89	34,97	1,89	42,50
2,04	34,09	2,04	36,30	2,04	44,27
		2,20	37,63	2,20	46,48
		2,36	38,95	2,36	47,81
		2,52	39,84		
		2,67	40,73		
		2,83	41,61		
		2,99	42,50		
		3,14	43,38		
		3,30	44,27		
		3,46	44,27		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



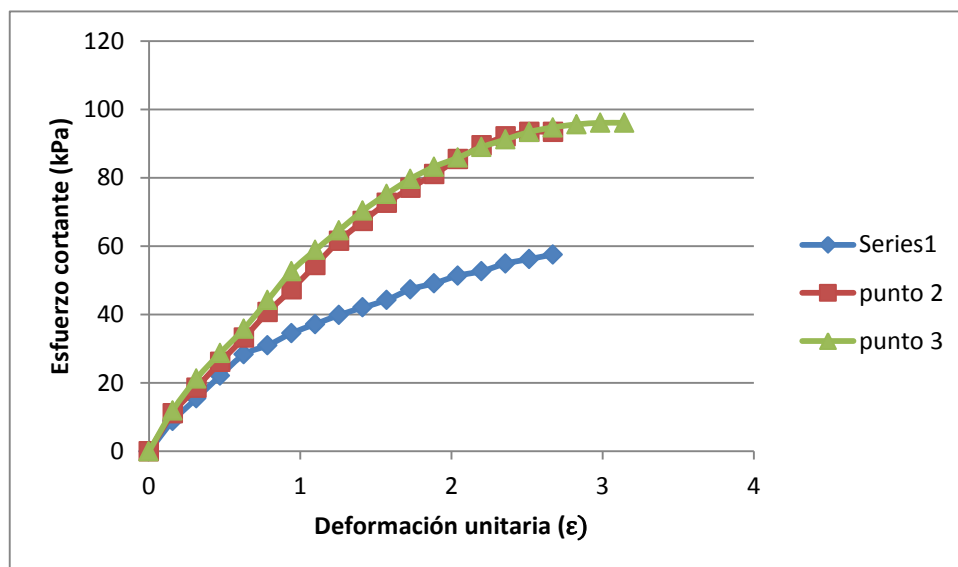
Anexo 53. Gráfica de esfuerzo deformación cilindro 3 muestra 12 %.



Anexo 54. Envolvente de falla cilindro 3 muestra 12 %.

**Anexo 55. Tabla cilindro 4 muestra 12 %.**

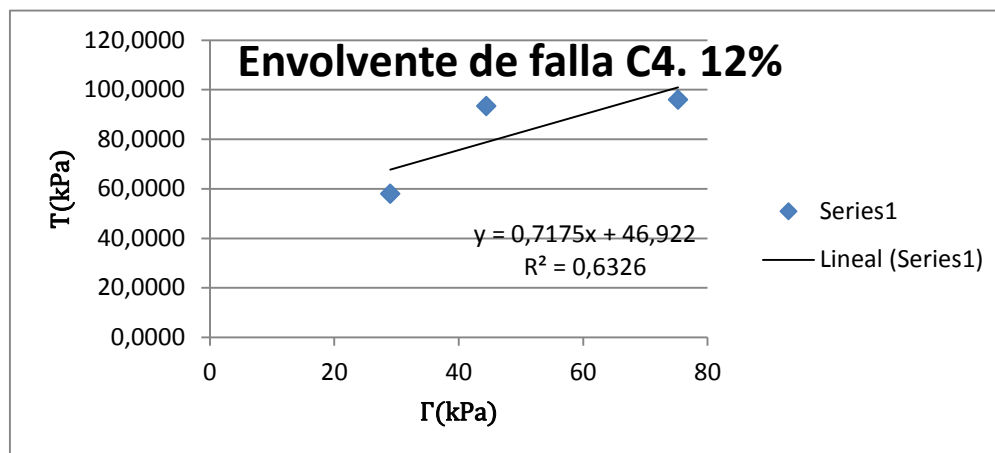
PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	8,85	0,16	11,07	0,16	11,95
0,31	15,49	0,31	18,59	0,31	21,25
0,47	22,13	0,47	26,12	0,47	28,77
0,63	28,33	0,63	33,20	0,63	35,86
0,79	30,99	0,79	40,73	0,79	44,27
0,94	34,53	0,94	47,37	0,94	52,68
1,10	37,18	1,10	54,45	1,10	58,87
1,26	39,84	1,26	61,53	1,26	64,63
1,42	42,05	1,42	67,28	1,42	70,38
1,57	44,27	1,57	72,60	1,57	75,25
1,73	47,37	1,73	77,02	1,73	79,68
1,89	49,14	1,89	81,01	1,89	83,22
2,04	51,35	2,04	85,43	2,04	85,88
2,20	52,68	2,20	89,42	2,20	88,98
2,36	54,89	2,36	92,07	2,36	91,19
2,52	56,22	2,52	93,40	2,52	93,40
2,67	57,55	2,67	93,40	2,67	94,73
2,83	57,99			2,83	95,62
				2,99	96,06
				3,14	96,06



**Anexo 56. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 4 muestra 12 %.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

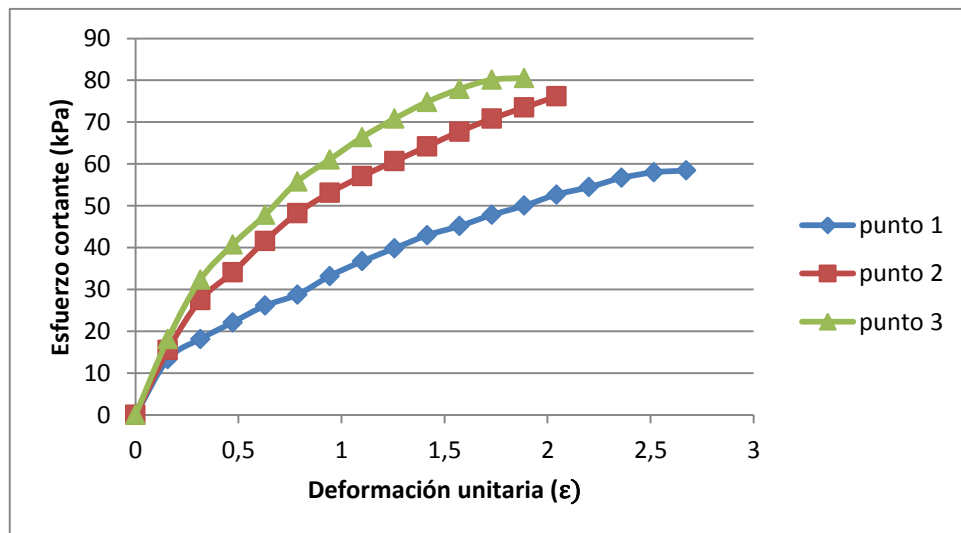




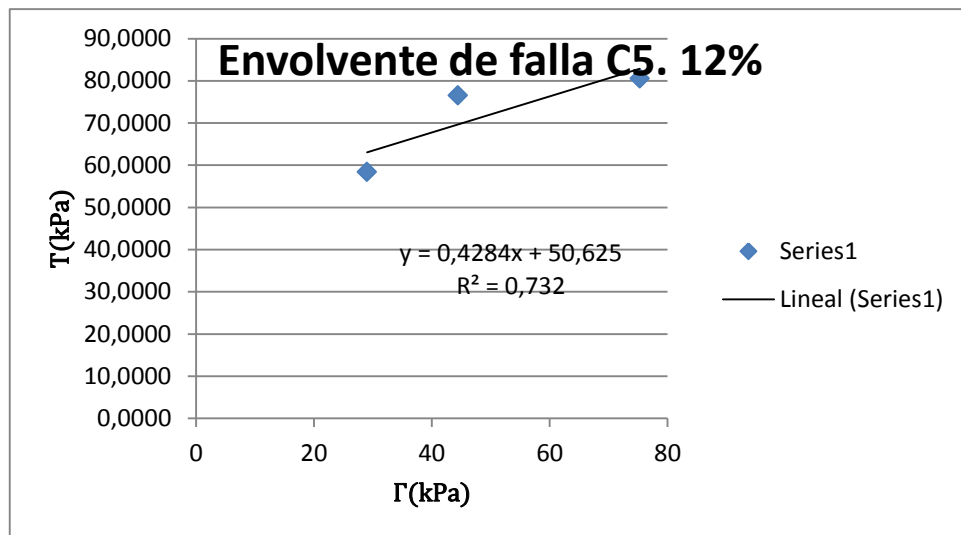
**Anexo 57. Envolvente de falla cilindro 4 muestra 12 %.**

**Anexo 58. Tabla cilindro 5 muestra 12 %.**

PUNTO 1 (9,4 kg)		PUNTO 2 (14,4kg)		PUNTO 3 (24,4 kg)	
deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)	deformacion unitaria	esfuerzo cortante (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	13,28	0,16	15,49	0,16	18,15
0,31	18,15	0,31	27,45	0,31	32,31
0,47	22,13	0,47	34,09	0,47	40,73
0,63	26,12	0,63	41,61	0,63	47,81
0,79	28,77	0,79	48,25	0,79	55,78
0,94	33,20	0,94	53,12	0,94	61,09
1,10	36,74	1,10	57,10	1,10	66,40
1,26	39,84	1,26	60,64	1,26	70,83
1,42	42,94	1,42	64,19	1,42	74,81
1,57	45,15	1,57	67,73	1,57	77,91
1,73	47,81	1,73	70,83	1,73	80,12
1,89	50,02	1,89	73,48	1,89	80,56
2,04	52,68	2,04	76,14		
2,20	54,45	2,20	76,58		
2,36	56,66				
2,52	57,99				
2,67	58,43				



**Anexo 59. Gráfica esfuerzo deformación cilindro 5 muestra 12 %.**

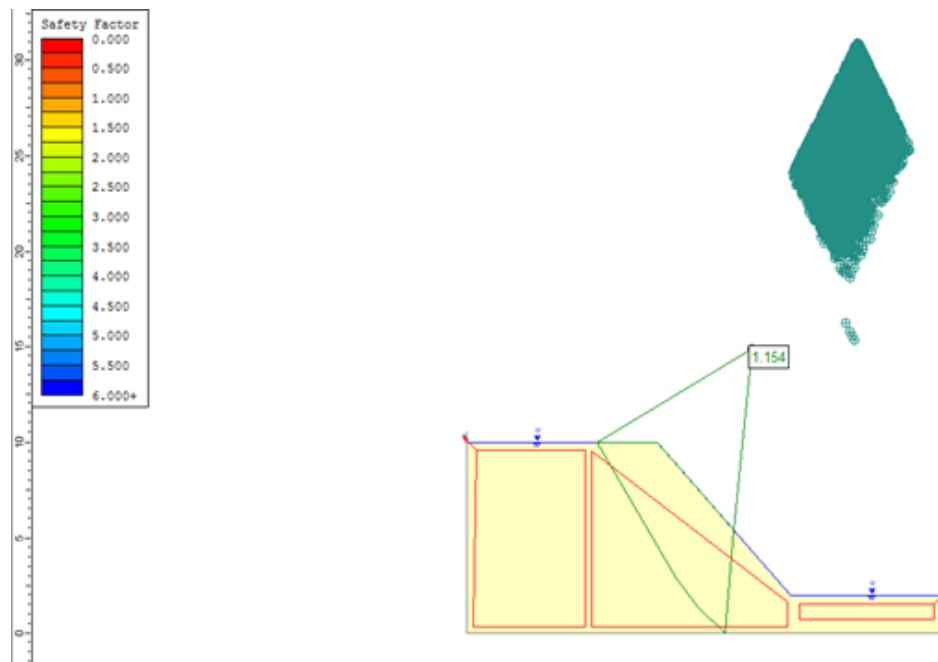


**Anexo 60. Envolvente de falla cilindro 5 muestra 12 %.**

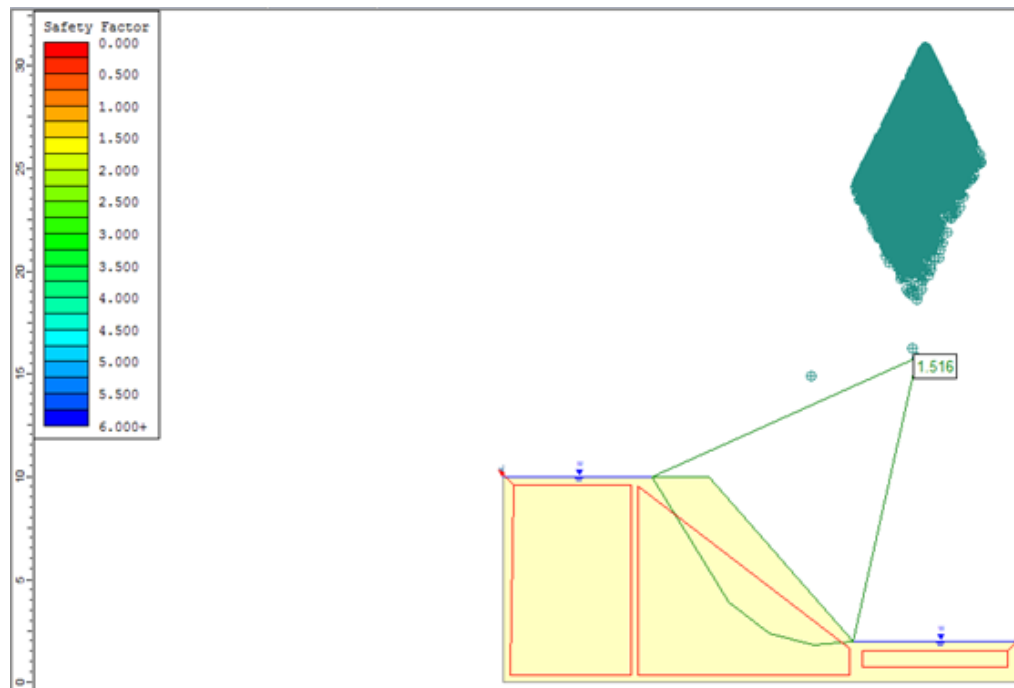
Anexos 5. Modelación en el programa Slide.

5.1. Factores de seguridad con 0 % de ladrillo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

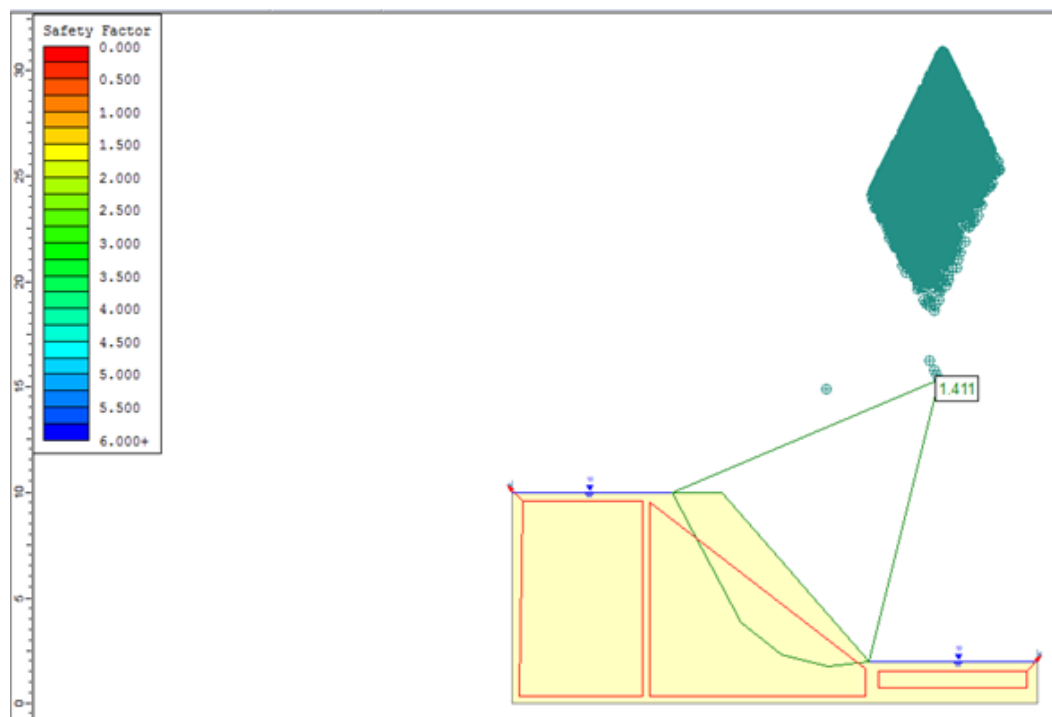


**Anexo 61. Factor de seguridad por Fellenius 0% de ladrillo triturado.**

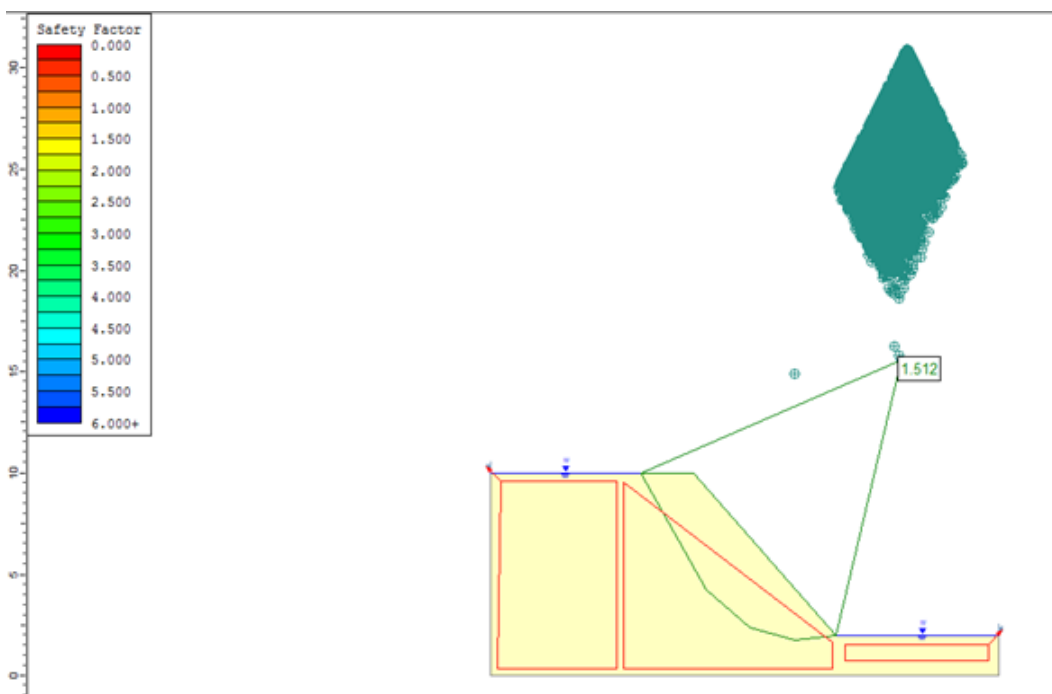


**Anexo 62. Factor de seguridad Bishop simplificado 0 % de ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

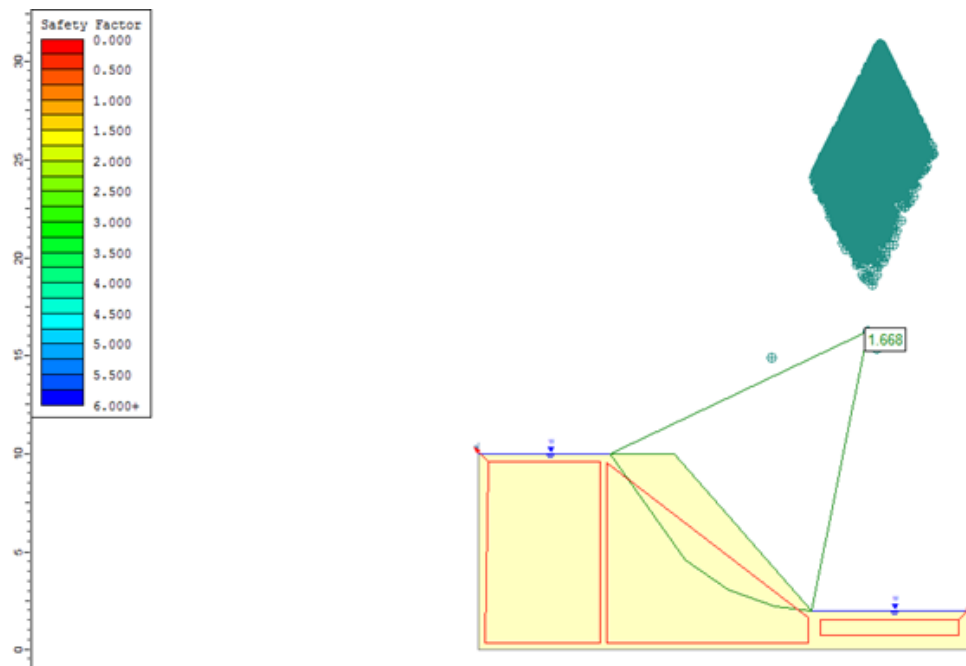


**Anexo 63. Factor de seguridad Janbu simplificado 0 % ladrillo triturado.**



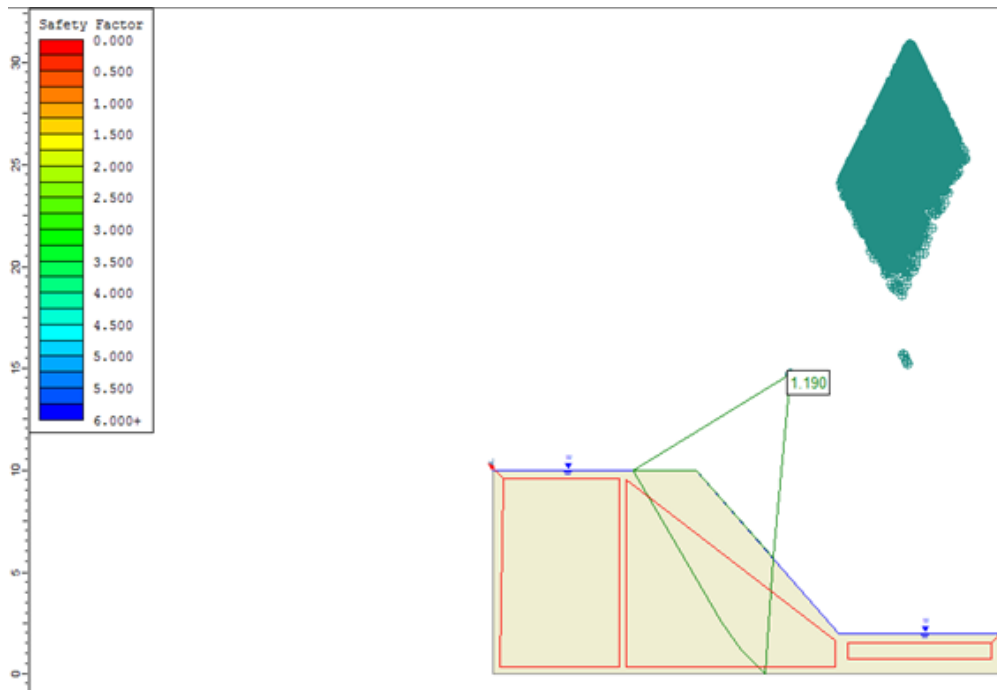
**Anexo 64. Factor de seguridad Janbu corregido 0 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



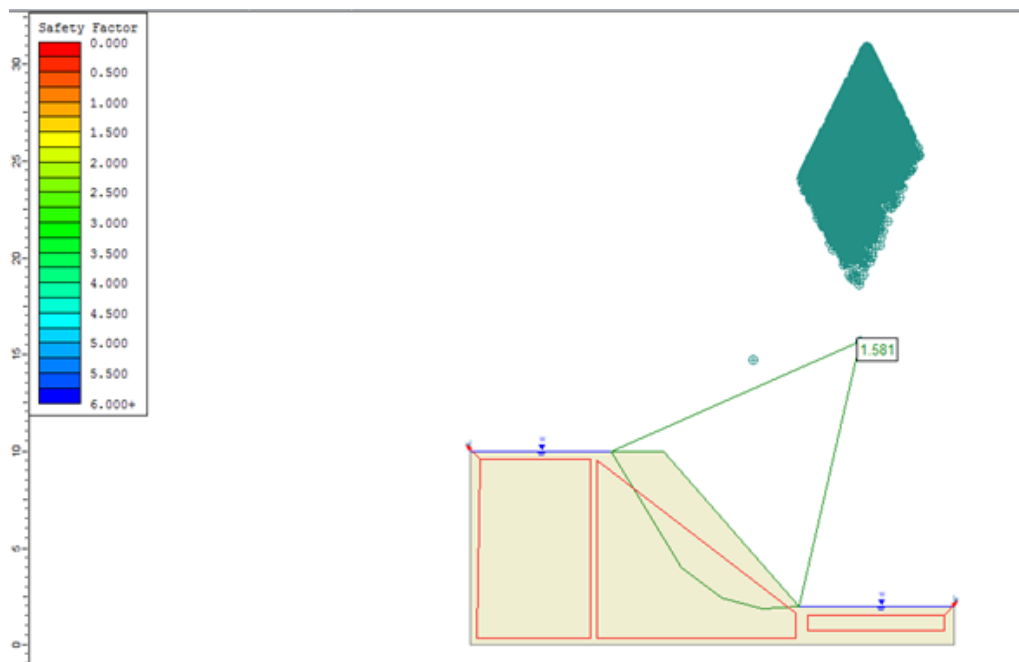
**Anexo 65. Factor de seguridad Spencer 0 % ladrillo triturado.**

## 5.2. Factores de seguridad 4 % de ladrillo.

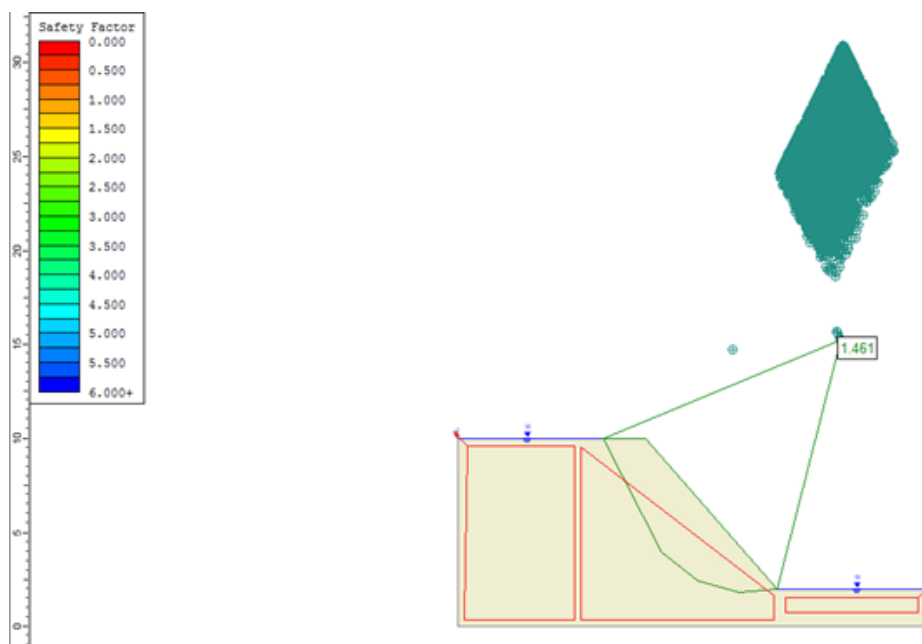


**Anexo 66. Factor de seguridad Fellenius 4 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

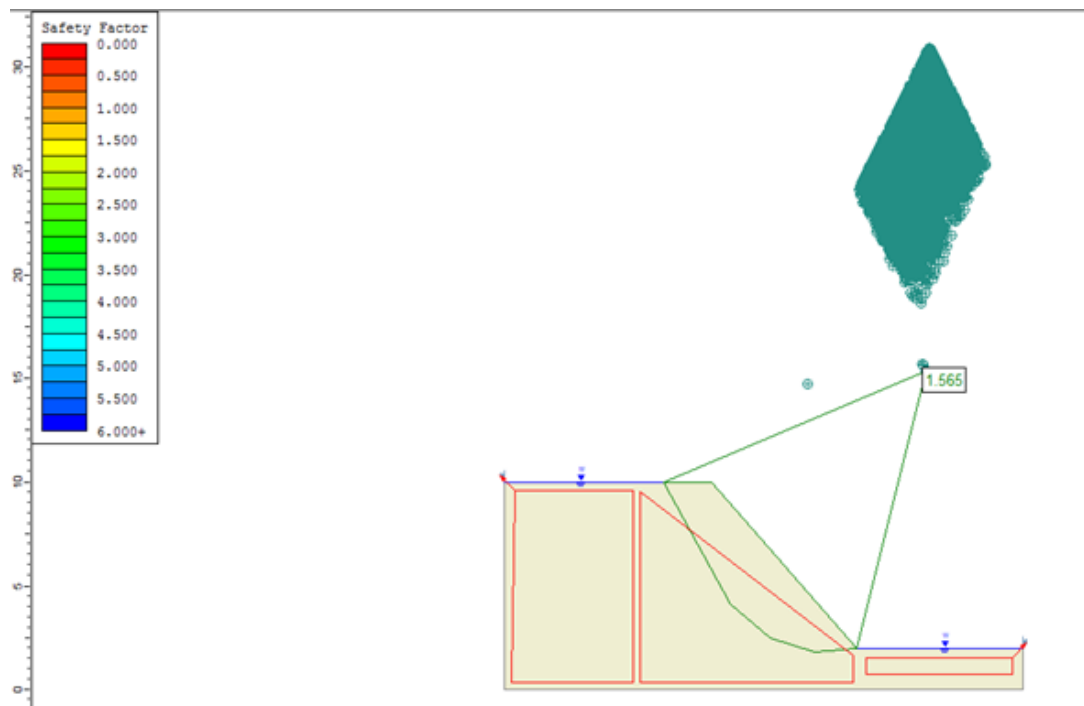


**Anexo 67. Factor de seguridad Bishop simplificado 4 % ladrillo triturado.**

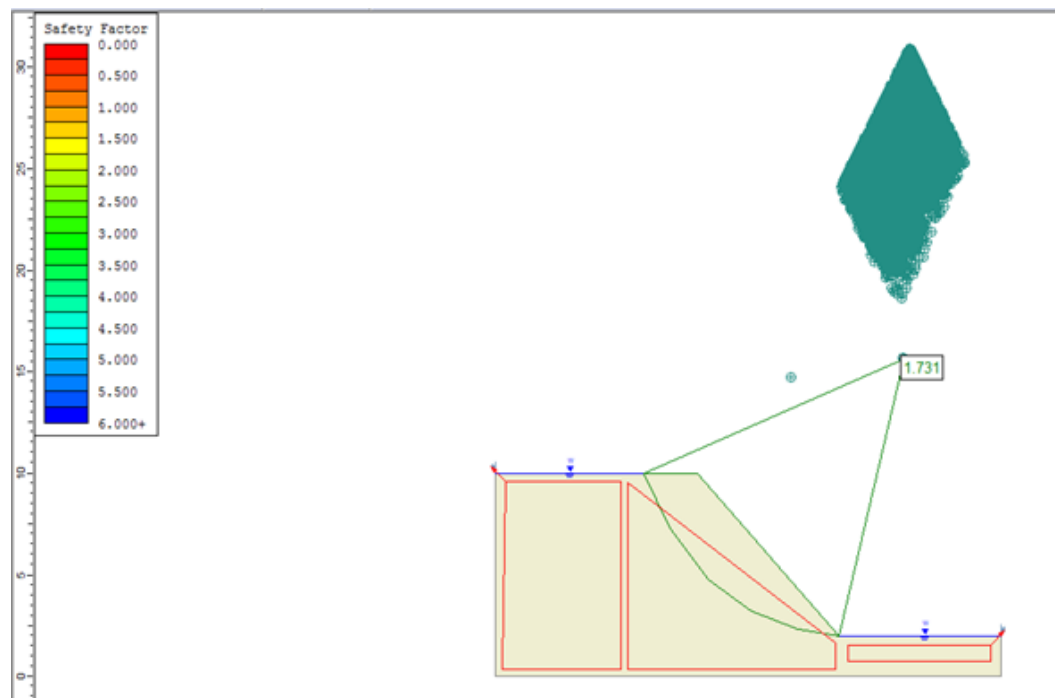


**Anexo 68. Factor de seguridad Janbu simplificado 4 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



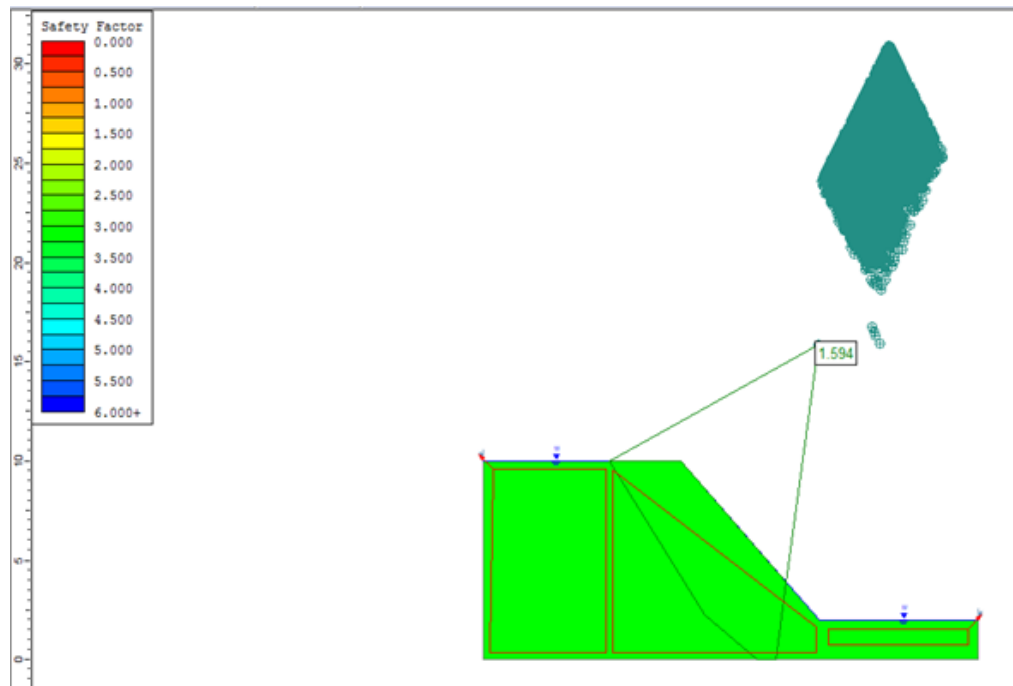
**Anexo 69. Factor de seguridad Janbu corregido 4 % ladrillo triturado.**



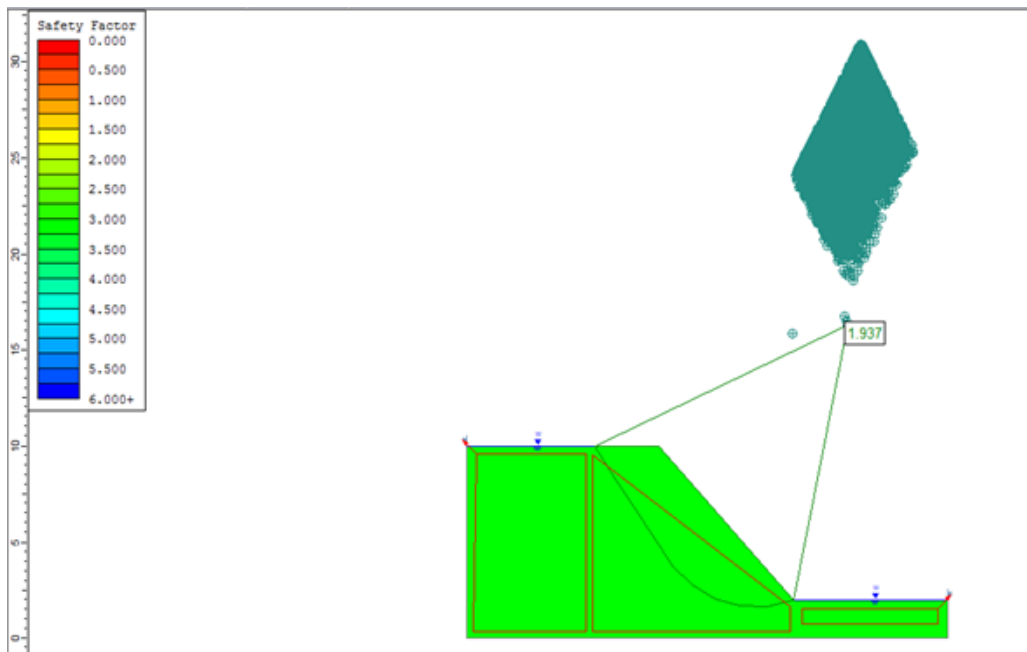
**Anexo 70. Factor de seguridad Spencer 4 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 5.3. Factores de seguridad 8 % ladrillo.



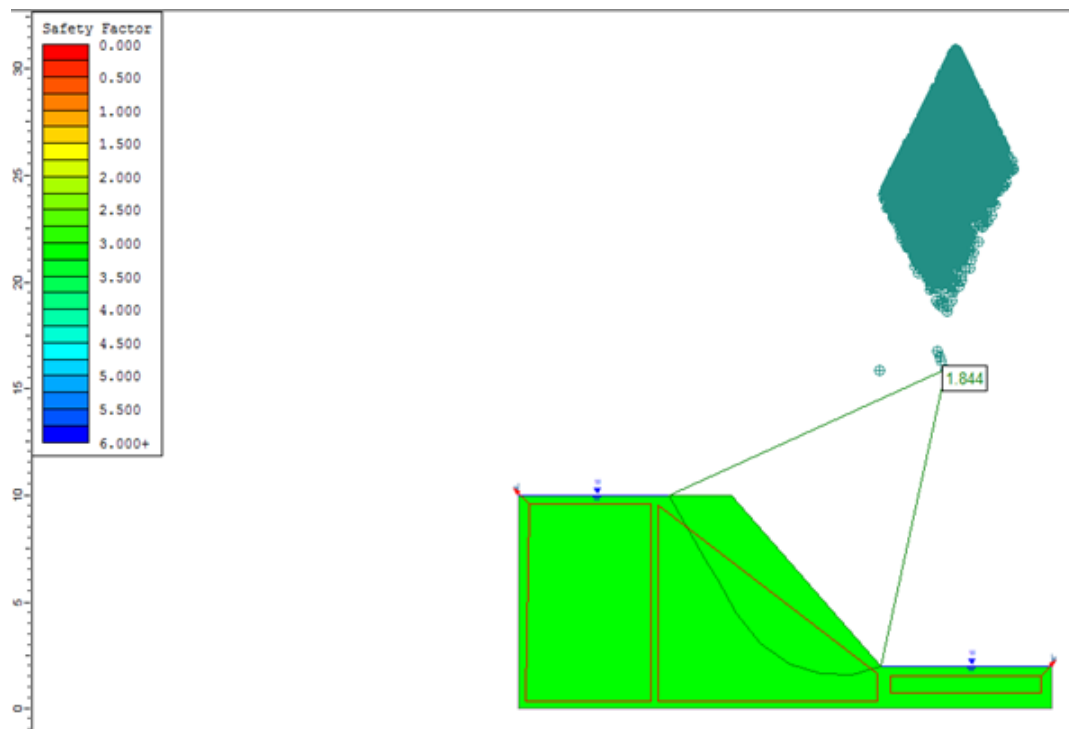
**Anexo 71. Factor de seguridad Fellenius 8 % ladrillo triturado.**



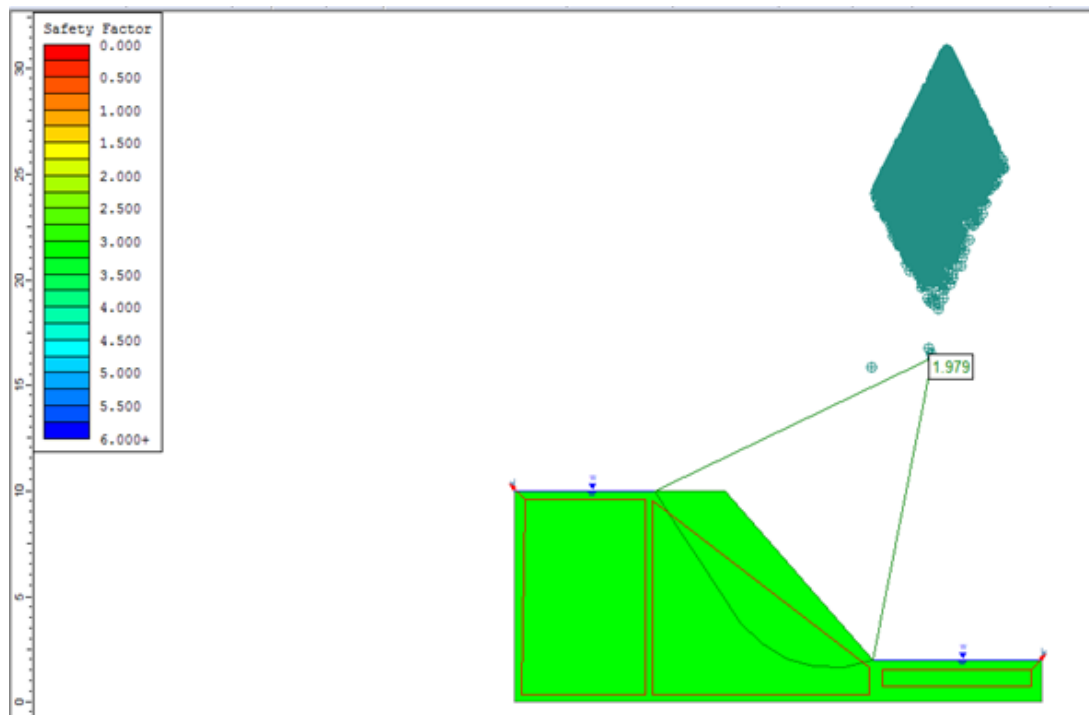
**Anexo 72. Factor de seguridad Bishop simplificado 8 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



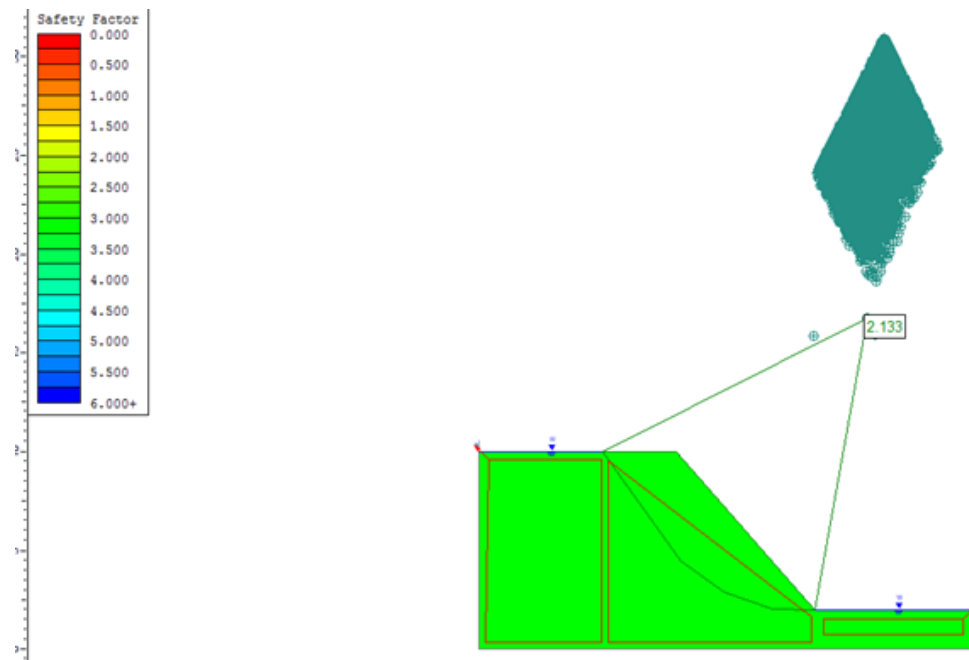


**Anexo 73. Factor de seguridad Janbu simplificado 8 % ladrillo triturado.**



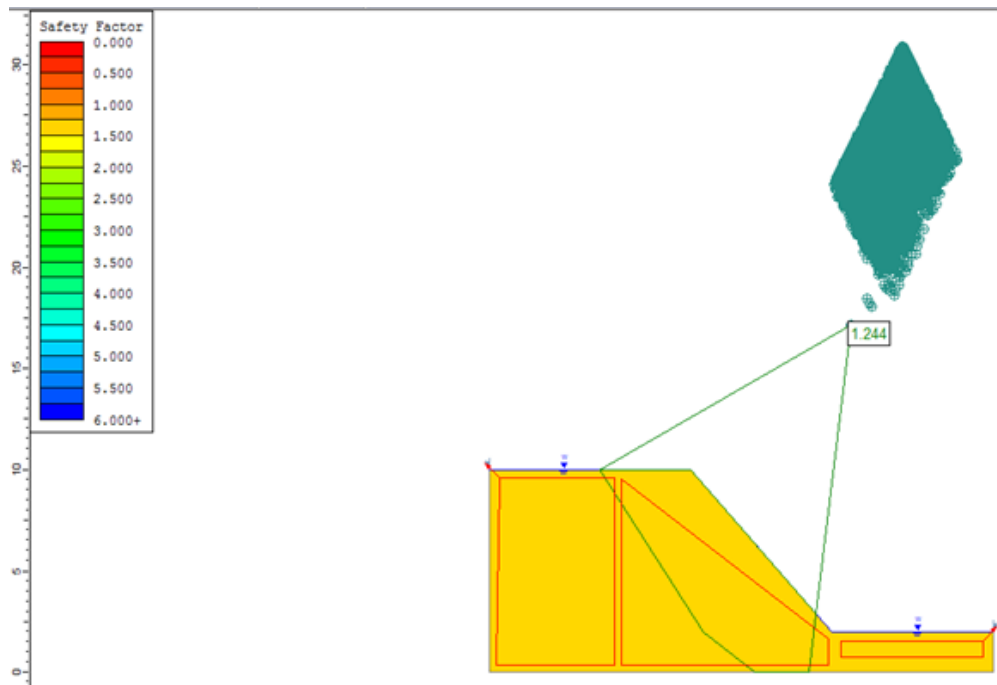
**Anexo 74. Factor de seguridad Janbu corregido 8 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



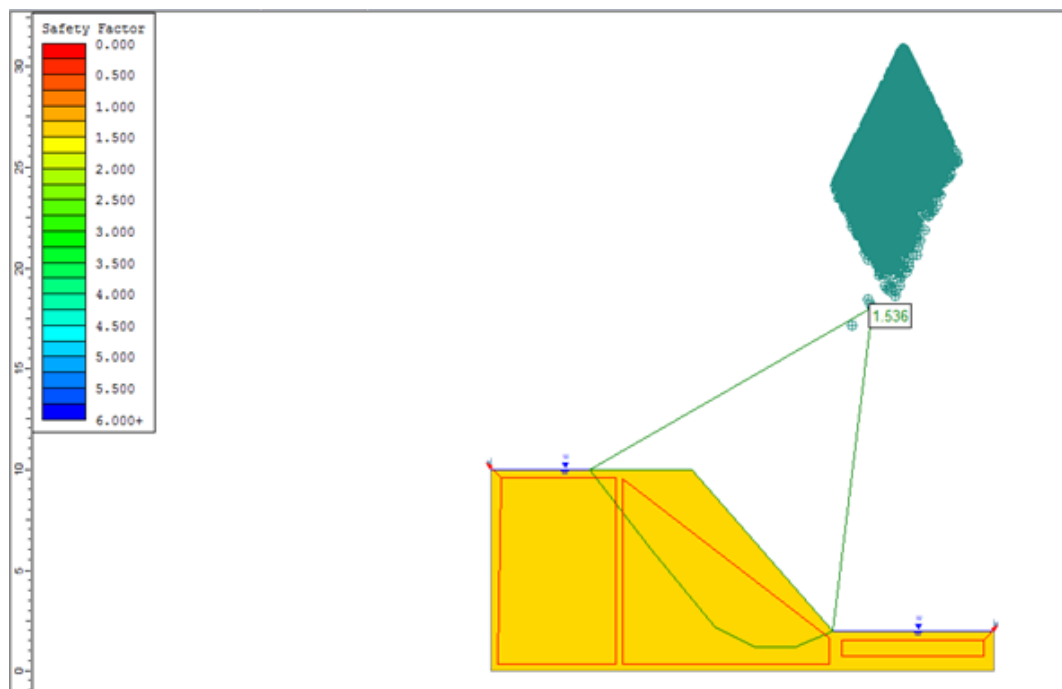
**Anexo 75. Factor de seguridad Spencer 8 % ladrillo triturado.**

#### 5.4. Factores de seguridad 12 % ladrillo.

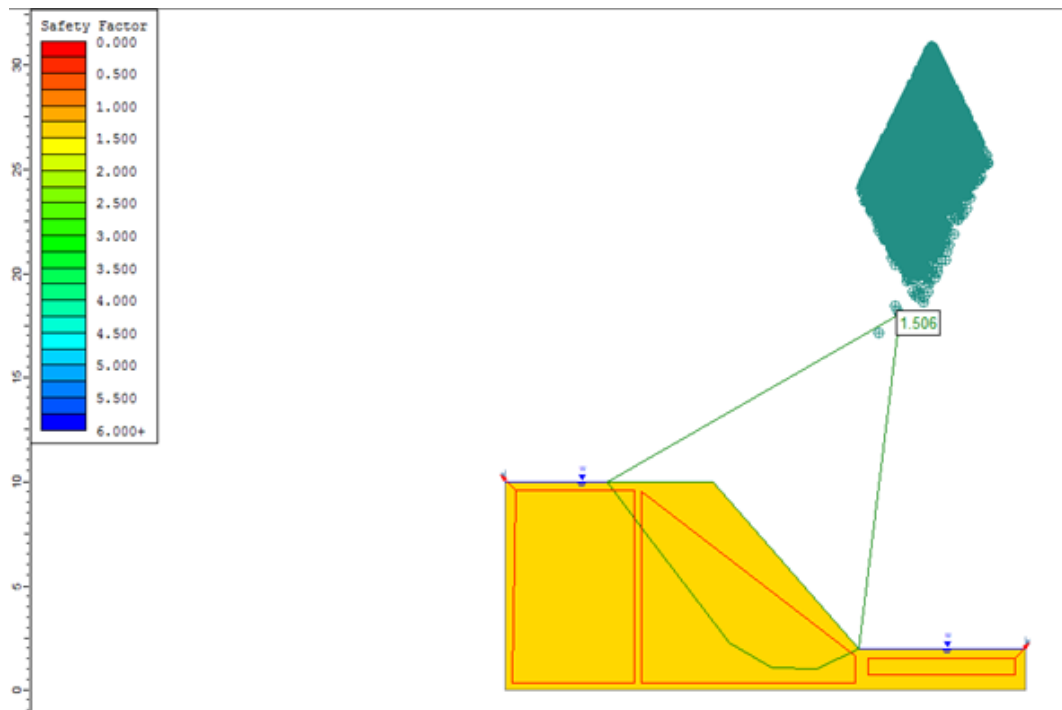


**Anexo 76. Factor de seguridad Fellenius 12 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

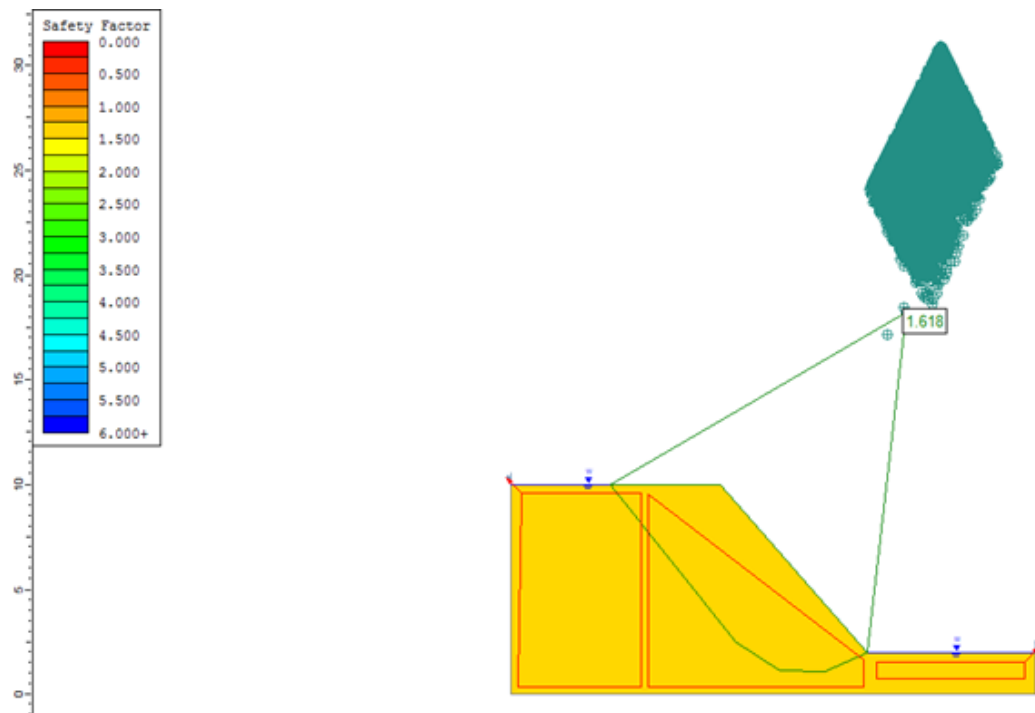


**Anexo 77. Factor de seguridad Bishop simplificado 12 % ladrillo triturado.**

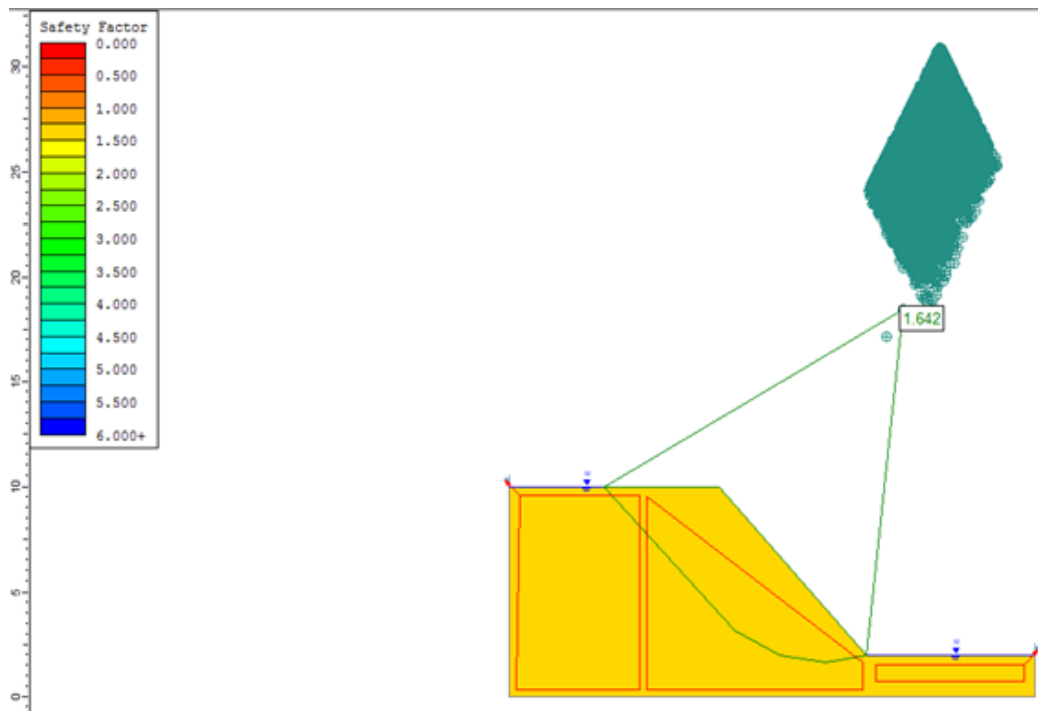


**Anexo 78. Factor de seguridad Janbu simplificado 12 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Anexo 79. Factor de seguridad Janbu corregido 12 % ladrillo triturado.**



**Anexo 80. Factor de seguridad Spencer 12 % ladrillo triturado.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## Anexos 6. Consolidación.

### Anexo 81. Tabla de ensayos de consolidación 0 % de ladrillo triturado.

0 % LADRILLO									
	Tiempo (min)	Lectura deformímetro		Lectura real		Deformación (mm)		Deformación Unitaria	
		Fijo	Flotante	Fijo	Flotante	Fijo	Flotante	Fijo	Flotante
	0	800	600	0	0	0	0	0,000	0,000
8s	0,1	978	800	178	200	0,356	0,4	0,015	0,023
15s	0,25	983	808	183	208	0,366	0,416	0,015	0,024
30s	0,5	986	814	186	214	0,372	0,428	0,015	0,024
1min	1	988	819	188	219	0,376	0,438	0,015	0,025
2min	2	991	823	191	223	0,382	0,446	0,016	0,025
4min	4	993	828	193	228	0,386	0,456	0,016	0,026
8min	8	994	830	194	230	0,388	0,46	0,016	0,026
15min	15	993	830	193	230	0,386	0,46	0,016	0,026
30min	30	991	830	191	230	0,382	0,46	0,016	0,026
1h	60	986	830	186	230	0,372	0,46	0,015	0,026
2h	120	983	822	183	222	0,366	0,444	0,015	0,025
4h	240	982	812	182	212	0,364	0,424	0,015	0,024
8h	480	981	804	181	204	0,362	0,408	0,015	0,023
24h	1440	980	800	180	200	0,36	0,4	0,015	0,023
8s	0,1	1042	928	242	328	0,484	0,656	0,020	0,037
15s	0,25	1047	929	247	329	0,494	0,658	0,020	0,037
30s	0,5	1054	929	254	329	0,508	0,658	0,021	0,037
1min	1	1062	929	262	329	0,524	0,658	0,021	0,037
2min	2	1070	929	270	329	0,54	0,658	0,022	0,037
4min	4	1080	929	280	329	0,56	0,658	0,023	0,037
8min	8	1089	929	289	329	0,578	0,658	0,024	0,037
15min	15	1096	929	296	329	0,592	0,658	0,024	0,037
30min	30	1104	929	304	329	0,608	0,658	0,025	0,037
1h	60	1111	951	311	351	0,622	0,702	0,025	0,040
2h	120	1116	953	316	353	0,632	0,706	0,026	0,040
4h	240	1121	954	321	354	0,642	0,708	0,026	0,040
8h	480	1125	957	325	357	0,65	0,714	0,027	0,041
24h	1440	1133	959	333	359	0,666	0,718	0,027	0,041
8s	0,1	1347	1025	547	425	1,094	0,85	0,045	0,048
15s	0,25	1362	1028	562	428	1,124	0,856	0,046	0,049
30s	0,5	1379	1032	579	432	1,158	0,864	0,047	0,049
1min	1	1398	1036	598	436	1,196	0,872	0,049	0,050
2min	2	1418	1041	618	441	1,236	0,882	0,050	0,050
4min	4	1436	1046	636	446	1,272	0,892	0,052	0,051
8min	8	1451	1051	651	451	1,302	0,902	0,053	0,051
15min	15	1462	1055	662	455	1,324	0,91	0,054	0,052
30min	30	1473	1059	673	459	1,346	0,918	0,055	0,052
1h	60	1483	1063	683	463	1,366	0,926	0,056	0,053
2h	120	1491	1068	691	468	1,382	0,936	0,056	0,053
4h	240	1499	1072	699	472	1,398	0,944	0,057	0,054
8h	480	1506	1076	706	476	1,412	0,952	0,058	0,054
24h	1440	1510	1078	710	478	1,42	0,956	0,058	0,054
8s	0,1	1831	1176	1031	576	2,062	1,152	0,084	0,065
15s	0,25	1847	1183	1047	583	2,094	1,166	0,085	0,066
30s	0,5	1870	1193	1070	593	2,14	1,186	0,087	0,067
1min	1	1896	1201	1096	601	2,192	1,202	0,089	0,068
2min	2	1925	1210	1125	610	2,25	1,22	0,092	0,069
4min	4	1955	1219	1155	619	2,31	1,238	0,094	0,070
8min	8	1980	1227	1180	627	2,36	1,254	0,096	0,071
15min	15	1999	1233	1199	633	2,398	1,266	0,098	0,072
30min	30	2015	1240	1215	640	2,43	1,28	0,099	0,073
1h	60	2028	1246	1228	646	2,456	1,292	0,100	0,073
2h	120	2039	1251	1239	651	2,478	1,302	0,101	0,074
4h	240	2047	1255	1247	655	2,494	1,31	0,102	0,074
8h	480	2053	1259	1253	659	2,506	1,318	0,102	0,075
24h	1440	2064	1266	1264	666	2,528	1,332	0,103	0,076
8s	0,10	2370	1418	1570	818	3,14	1,636	0,128	0,093
15s	0,25	2387	1434	1587	834	3,174	1,668	0,130	0,095
30s	0,50	2412	1446	1612	846	3,224	1,692	0,132	0,096
1min	1	2444	1460	1644	860	3,288	1,72	0,134	0,098
2min	2	2482	1473	1682	873	3,364	1,746	0,137	0,099
4min	4	2526	1488	1726	888	3,452	1,776	0,141	0,101
8min	8	2569	1504	1769	904	3,538	1,808	0,144	0,103
15min	15	2602	1512	1802	912	3,604	1,824	0,147	0,104
30min	30	2630	1530	1830	930	3,66	1,86	0,149	0,106
1h	60	2650	1542	1850	942	3,7	1,884	0,151	0,107
2h	120	2667	1553	1867	953	3,734	1,906	0,152	0,108
4h	240	2680	1563	1880	963	3,76	1,926	0,153	0,109
8h	480	2688	1567	1888	967	3,776	1,934	0,154	0,110
24h	1440	2701	1579	1901	979	3,802	1,958	0,155	0,111
Descarga		1886	1175	1086	575	2,172	1,15	0,089	0,065

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## Anexo 82. Tabla de ensayos de consolidación 4 % de ladrillo triturado.

4 % LADRILLO									
Tiempo (min)		Lectura deformímetro		Lectura real		Deformación (mm)		Deformación Unitaria	
		Fijo	Flotante	Fijo	Flotante	Fijo	Flotante	Fijo	Flotante
0	0	800	700	0	0	0	0	0	0
8s	0,1	873	807	73	107	0,146	0,214	0,0060	0,0122
15s	0,25	876	818	76	118	0,152	0,236	0,0062	0,0134
30s	0,5	879	829	79	129	0,158	0,258	0,0064	0,0147
1min	1	879	838	79	138	0,158	0,276	0,0064	0,0157
2min	2	879	844	79	144	0,158	0,288	0,0064	0,0164
4min	4	878	848	78	148	0,156	0,296	0,0064	0,0168
8min	8	872	851	72	151	0,144	0,302	0,0059	0,0172
15min	15	864	851	64	151	0,128	0,302	0,0052	0,0172
30min	30	853	851	53	151	0,106	0,302	0,0043	0,0172
1h	60	845	848	45	148	0,09	0,296	0,0037	0,0168
2h	120	843	845	43	145	0,086	0,29	0,0035	0,0165
4h	240	841	845	41	145	0,082	0,29	0,0033	0,0165
8h	480	835	844	35	144	0,07	0,288	0,0029	0,0164
24h	1440	824	843	24	143	0,048	0,286	0,0020	0,0163
8s	0,1	896	870	96	170	0,192	0,34	0,0078	0,0193
15s	0,25	896	873	96	173	0,192	0,346	0,0078	0,0197
30s	0,5	896	877	96	177	0,192	0,354	0,0078	0,0201
1min	1	898	880	98	180	0,196	0,36	0,0080	0,0205
2min	2	901	886	101	186	0,202	0,372	0,0082	0,0211
4min	4	903	892	103	192	0,206	0,384	0,0084	0,0218
8min	8	904	896	104	196	0,208	0,392	0,0085	0,0223
15min	15	905	900	105	200	0,21	0,4	0,0086	0,0227
30min	30	907	904	107	204	0,214	0,408	0,0087	0,0232
1h	60	908	907	108	207	0,216	0,414	0,0088	0,0235
2h	120	914	910	114	210	0,228	0,42	0,0093	0,0239
4h	240	918	914	118	214	0,236	0,428	0,0096	0,0243
8h	480	925	917	125	217	0,25	0,434	0,0102	0,0247
24h	1440	949	926	149	226	0,298	0,452	0,0122	0,0257
8s	0,1	988	1088	188	388	0,376	0,776	0,0153	0,0441
15s	0,25	994	1094	194	394	0,388	0,788	0,0158	0,0448
30s	0,5	1001	1101	201	401	0,402	0,802	0,0164	0,0456
1min	1	1009	1109	209	409	0,418	0,818	0,0171	0,0465
2min	2	1016	1116	216	416	0,432	0,832	0,0176	0,0473
4min	4	1025	1125	225	425	0,45	0,85	0,0184	0,0483
8min	8	1031	1131	231	431	0,462	0,862	0,0189	0,0490
15min	15	1038	1138	238	438	0,476	0,876	0,0194	0,0498
30min	30	1044	1144	244	444	0,488	0,888	0,0199	0,0505
1h	60	1051	1151	251	451	0,502	0,902	0,0205	0,0513
2h	120	1057	1157	257	457	0,514	0,914	0,0210	0,0519
4h	240	1077	1162	277	462	0,554	0,924	0,0226	0,0525
8h	480	1079	1165	279	465	0,558	0,93	0,0228	0,0528
24h	1440	1084	1171	284	471	0,568	0,942	0,0232	0,0535
8s	0,1	1240	1284	440	584	0,88	1,168	0,0359	0,0664
15s	0,25	1248	1297	448	597	0,896	1,194	0,0366	0,0678
30s	0,5	1259	1306	459	606	0,918	1,212	0,0375	0,0689
1min	1	1270	1317	470	617	0,94	1,234	0,0384	0,0701
2min	2	1281	1328	481	628	0,962	1,256	0,0393	0,0714
4min	4	1293	1338	493	638	0,986	1,276	0,0402	0,0725
8min	8	1305	1348	505	648	1,01	1,296	0,0412	0,0736
15min	15	1315	1357	515	657	1,03	1,314	0,0420	0,0747
30min	30	1325	1367	525	667	1,05	1,334	0,0429	0,0758
1h	60	1334	1375	534	675	1,068	1,35	0,0436	0,0767
2h	120	1343	1376	543	676	1,086	1,352	0,0443	0,0768
4h	240	1352	1389	552	689	1,104	1,378	0,0451	0,0783
8h	480	1354	1394	554	694	1,108	1,388	0,0452	0,0789
24h	1440	1360	1400	560	700	1,12	1,4	0,0457	0,0795
8s	0,1	1614	1564	814	864	1,628	1,728	0,0664	0,0982
15s	0,25	1626	1578	826	878	1,652	1,756	0,0674	0,0998
30s	0,5	1643	1592	843	892	1,686	1,784	0,0688	0,1014
1min	1	1659	1608	859	908	1,718	1,816	0,0701	0,1032
2min	2	1678	1623	878	923	1,756	1,846	0,0717	0,1049
4min	4	1697	1638	897	938	1,794	1,876	0,0732	0,1066
8min	8	1717	1653	917	953	1,834	1,906	0,0749	0,1083
15min	15	1735	1664	935	964	1,87	1,928	0,0763	0,1095
30min	30	1754	1665	954	965	1,908	1,93	0,0779	0,1097
1h	60	1770	1665	970	965	1,94	1,93	0,0792	0,1097
2h	120	1784	1665	984	965	1,968	1,93	0,0803	0,1097
4h	240	1790	1670	990	970	1,98	1,94	0,0808	0,1102
8h	480	1804	1685	1004	985	2,008	1,97	0,0820	0,1119
24h	1440	1822	1715	1022	1015	2,044	2,03	0,0834	0,1153
Descarga		1313	1262	513	562	1,026	1,124	0,0419	0,0639

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### Anexo 83. Tabla de ensayos de consolidación 8 % de ladrillo triturado.

8 % LADRILLO									
Tiempo (min)		Lectura deformímetro		Lectura real		Deformación (mm)		Deformación Unitaria	
		Fijo	Flotante	Fijo	Flotante	Fijo	Flotante	Fijo	Flotante
0	0	400	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
8s	0,1	415	48	15	48	0,03	0,096	0,0012	0,0055
15s	0,25	417	59	17	59	0,034	0,118	0,0014	0,0067
30s	0,5	430	68	30	68	0,06	0,136	0,0024	0,0077
1min	1	436	75	36	75	0,072	0,15	0,0029	0,0085
2min	2	440	79	40	79	0,08	0,158	0,0033	0,0090
4min	4	442	81	42	81	0,084	0,162	0,0034	0,0092
8min	8	450	83	50	83	0,1	0,166	0,0041	0,0094
15min	15	455	84	55	84	0,11	0,168	0,0045	0,0095
30min	30	460	84	60	84	0,12	0,168	0,0049	0,0095
1h	60	462	85	62	85	0,124	0,17	0,0051	0,0097
2h	120	471	85	71	85	0,142	0,17	0,0058	0,0097
4h	240	480	85	80	85	0,16	0,17	0,0065	0,0097
8h	480	487	86	87	86	0,174	0,172	0,0071	0,0098
24h	1440	494	88	94	88	0,188	0,176	0,0077	0,0100
8s	0,1	503	154	103	154	0,206	0,308	0,0084	0,0175
15s	0,25	504	160	104	160	0,208	0,32	0,0085	0,0182
30s	0,5	506	168	106	168	0,212	0,336	0,0087	0,0191
1min	1	508	176	108	176	0,216	0,352	0,0088	0,0200
2min	2	510	183	110	183	0,22	0,366	0,0090	0,0208
4min	4	512	190	112	190	0,224	0,38	0,0091	0,0216
8min	8	514	196	114	196	0,228	0,392	0,0093	0,0223
15min	15	515	201	115	201	0,23	0,402	0,0094	0,0228
30min	30	517	206	117	206	0,234	0,412	0,0096	0,0234
1h	60	519	210	119	210	0,238	0,42	0,0097	0,0239
2h	120	521	210	121	210	0,242	0,42	0,0099	0,0239
4h	240	522	210	122	210	0,244	0,42	0,0100	0,0239
8h	480	523	220	123	220	0,246	0,44	0,0100	0,0250
24h	1440	525	230	125	230	0,25	0,46	0,0102	0,0261
8s	0,1	586	365	186	365	0,372	0,73	0,0152	0,0415
15s	0,25	590	375	190	375	0,38	0,75	0,0155	0,0426
30s	0,5	595	386	195	386	0,39	0,772	0,0159	0,0439
1min	1	600	399	200	399	0,4	0,798	0,0163	0,0453
2min	2	606	415	206	415	0,412	0,83	0,0168	0,0472
4min	4	612	427	212	427	0,424	0,854	0,0173	0,0485
8min	8	619	439	219	439	0,438	0,878	0,0179	0,0499
15min	15	624	448	224	448	0,448	0,896	0,0183	0,0509
30min	30	629	455	229	455	0,458	0,91	0,0187	0,0517
1h	60	634	464	234	464	0,468	0,928	0,0191	0,0527
2h	120	639	470	239	470	0,478	0,94	0,0195	0,0534
4h	240	644	478	244	478	0,488	0,956	0,0199	0,0543
8h	480	647	483	247	483	0,494	0,966	0,0202	0,0549
24h	1440	651	490	251	490	0,502	0,98	0,0205	0,0557
8s	0,1	757	734	357	734	0,714	1,468	0,0291	0,0834
15s	0,25	763	751	363	751	0,726	1,502	0,0296	0,0853
30s	0,5	771	771	371	771	0,742	1,542	0,0303	0,0876
1min	1	779	793	379	793	0,758	1,586	0,0309	0,0901
2min	2	788	814	388	814	0,776	1,628	0,0317	0,0925
4min	4	798	837	398	837	0,796	1,674	0,0325	0,0951
8min	8	808	854	408	854	0,816	1,708	0,0333	0,0970
15min	15	815	867	415	867	0,83	1,734	0,0339	0,0985
30min	30	823	879	423	879	0,846	1,758	0,0345	0,0999
1h	60	829	890	429	890	0,858	1,78	0,0350	0,1011
2h	120	835	900	435	900	0,87	1,8	0,0355	0,1023
4h	240	839	910	439	910	0,878	1,82	0,0358	0,1034
8h	480	842	919	442	919	0,884	1,838	0,0361	0,1044
24h	1440	850	927	450	927	0,9	1,854	0,0367	0,1053
8s	0,1	1015	1414	615	1414	1,23	2,828	0,0502	0,1607
15s	0,25	1025	1432	625	1432	1,25	2,864	0,0510	0,1627
30s	0,5	1036	1457	636	1457	1,272	2,914	0,0519	0,1656
1min	1	1047	1478	647	1478	1,294	2,956	0,0528	0,1680
2min	2	1060	1504	660	1504	1,32	3,008	0,0539	0,1709
4min	4	1072	1534	672	1534	1,344	3,068	0,0549	0,1743
8min	8	1086	1564	686	1564	1,372	3,128	0,0560	0,1777
15min	15	1097	1585	697	1585	1,394	3,17	0,0569	0,1801
30min	30	1108	1603	708	1603	1,416	3,206	0,0578	0,1822
1h	60	1118	1615	718	1615	1,436	3,23	0,0586	0,1835
2h	120	1128	1628	728	1628	1,456	3,256	0,0594	0,1850
4h	240	1135	1640	735	1640	1,47	3,28	0,0600	0,1864
8h	480	1139	1640	739	1640	1,478	3,28	0,0603	0,1864
24h	1440	1148	1640	748	1640	1,496	3,28	0,0611	0,1864
Descarga		883	849	483	849	0,966	1,698	0,0394	0,0965

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

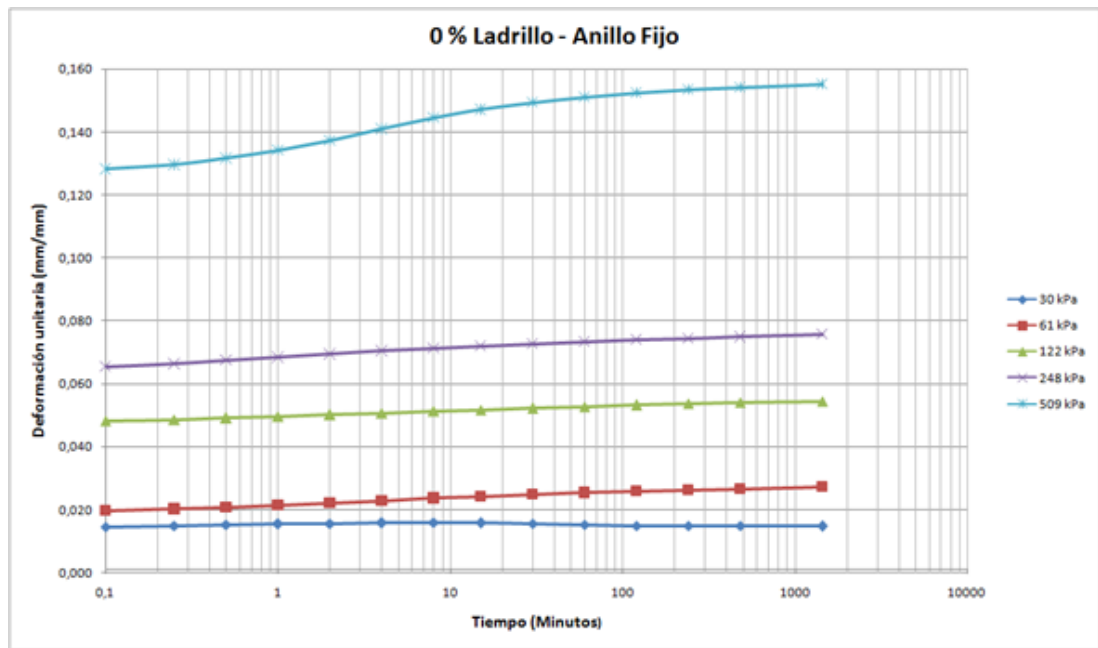


## Anexo 84. Tabla de ensayos de consolidación 12 % de ladrillo triturado.

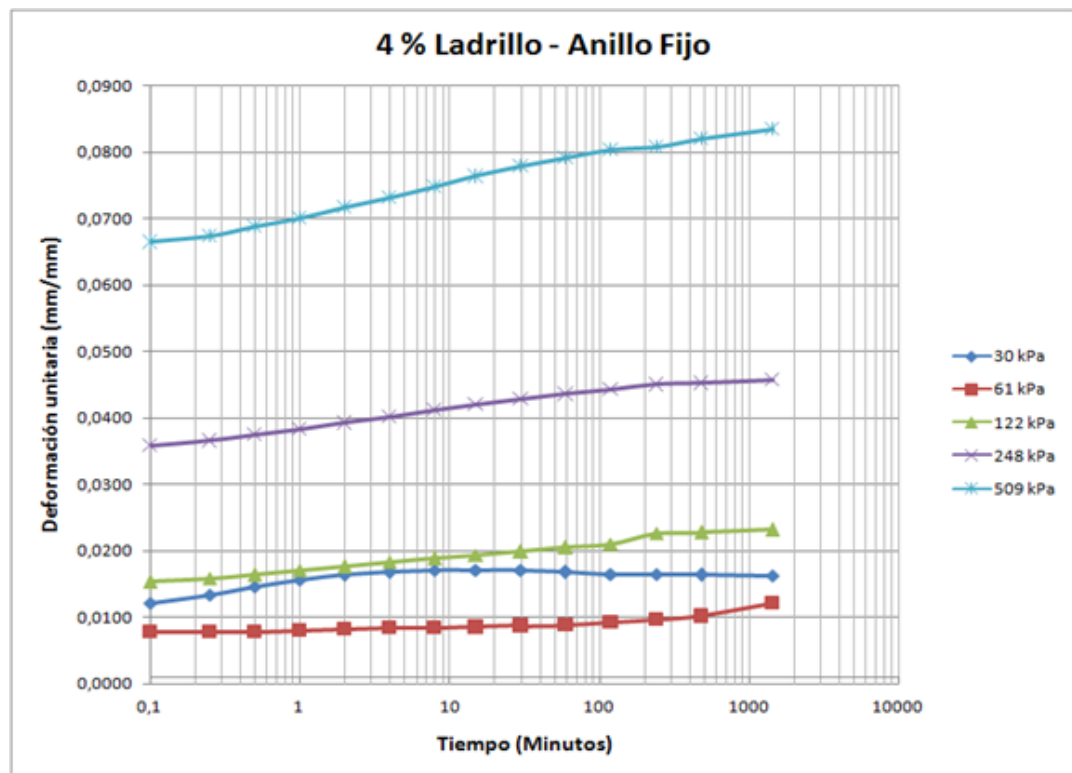
12 % LADRILLO									
Tiempo (min)		Lectura deformímetro		Lectura real		Deformación (mm)		Deformación Unitaria	
		Fijo	Flotante	Fijo	Flotante	Fijo	Flotante	Fijo	Flotante
0	0	800	400	0	0	0	0	0	0
8s	0,1	904	550	104	150	0,208	0,300	0,0085	0,0170
15s	0,25	910	585	110	185	0,220	0,370	0,0090	0,0210
30s	0,5	917	601	117	201	0,234	0,402	0,0096	0,0228
1min	1	920	630	120	230	0,240	0,460	0,0098	0,0261
2min	2	922	649	122	249	0,244	0,498	0,0100	0,0283
4min	4	922	669	122	269	0,244	0,538	0,0100	0,0306
8min	8	925	687	125	287	0,250	0,574	0,0102	0,0326
15min	15	925	706	125	306	0,250	0,612	0,0102	0,0348
30min	30	928	718	128	318	0,256	0,636	0,0104	0,0361
1h	60	930	727	130	327	0,260	0,654	0,0106	0,0372
2h	120	928	730	128	330	0,256	0,660	0,0104	0,0375
4h	240	925	737	125	337	0,250	0,674	0,0102	0,0383
8h	480	924	740	124	340	0,248	0,680	0,0101	0,0386
24h	1440	920	750	120	350	0,240	0,700	0,0098	0,0398
8s	0,1	940	810	140	410	0,280	0,820	0,0114	0,0466
15s	0,25	945	824	145	424	0,290	0,848	0,0118	0,0482
30s	0,5	949	840	149	440	0,298	0,880	0,0122	0,0500
1min	1	953	854	153	454	0,306	0,908	0,0125	0,0516
2min	2	955	865	155	465	0,310	0,930	0,0127	0,0528
4min	4	958	875	158	475	0,316	0,950	0,0129	0,0540
8min	8	959	882	159	482	0,318	0,964	0,0130	0,0548
15min	15	959	884	159	484	0,318	0,968	0,0130	0,0550
30min	30	958	884	158	484	0,316	0,968	0,0129	0,0550
1h	60	955	884	155	484	0,310	0,968	0,0127	0,0550
2h	120	955	884	155	484	0,310	0,968	0,0127	0,0550
4h	240	954	884	154	484	0,308	0,968	0,0126	0,0550
8h	480	954	884	154	484	0,308	0,968	0,0126	0,0550
24h	1440	954	884	154	484	0,308	0,968	0,0126	0,0550
8s	0,1	996	1017	196	617	0,392	1,234	0,0160	0,0701
15s	0,25	999	1025	199	625	0,398	1,250	0,0162	0,0710
30s	0,5	1002	1037	202	637	0,404	1,274	0,0165	0,0724
1min	1	1005	1048	205	648	0,410	1,296	0,0167	0,0736
2min	2	1009	1059	209	659	0,418	1,318	0,0171	0,0749
4min	4	1012	1072	212	672	0,424	1,344	0,0173	0,0764
8min	8	1015	1082	215	682	0,430	1,364	0,0176	0,0775
15min	15	1019	1093	219	693	0,438	1,386	0,0179	0,0788
30min	30	1022	1104	222	704	0,444	1,408	0,0181	0,0800
1h	60	1025	1109	225	709	0,450	1,418	0,0184	0,0806
2h	120	1028	1116	228	716	0,456	1,432	0,0186	0,0814
4h	240	1030	1122	230	722	0,460	1,444	0,0188	0,0820
8h	480	1032	1129	232	729	0,464	1,458	0,0189	0,0828
24h	1440	1035	1134	235	734	0,470	1,468	0,0192	0,0834
8s	0,1	1155	1325	355	925	0,710	1,850	0,0290	0,1051
15s	0,25	1162	1337	362	937	0,724	1,874	0,0296	0,1065
30s	0,5	1171	1350	371	950	0,742	1,900	0,0303	0,1080
1min	1	1179	1369	379	969	0,758	1,938	0,0309	0,1101
2min	2	1188	1389	388	989	0,776	1,978	0,0317	0,1124
4min	4	1196	1410	396	1010	0,792	2,020	0,0323	0,1148
8min	8	1204	1431	404	1031	0,808	2,062	0,0330	0,1172
15min	15	1211	1450	411	1050	0,822	2,100	0,0336	0,1193
30min	30	1218	1462	418	1062	0,836	2,124	0,0341	0,1207
1h	60	1224	1464	424	1064	0,848	2,128	0,0346	0,1209
2h	120	1230	1464	430	1064	0,860	2,128	0,0351	0,1209
4h	240	1235	1464	435	1064	0,870	2,128	0,0355	0,1209
8h	480	1241	1464	441	1064	0,882	2,128	0,0360	0,1209
24h	1440	1246	1464	446	1064	0,892	2,128	0,0364	0,1209
8s	0,1	1465	1713	665	1313	1,330	2,626	0,0543	0,1492
15s	0,25	1475	1734	675	1334	1,350	2,668	0,0551	0,1516
30s	0,5	1488	1749	688	1349	1,376	2,698	0,0562	0,1533
1min	1	1501	1769	701	1369	1,402	2,738	0,0572	0,1556
2min	2	1516	1797	716	1397	1,432	2,794	0,0584	0,1588
4min	4	1532	1829	732	1429	1,464	2,858	0,0598	0,1624
8min	8	1547	1857	747	1457	1,494	2,914	0,0610	0,1656
15min	15	1560	1881	760	1481	1,520	2,962	0,0620	0,1683
30min	30	1574	1902	774	1502	1,548	3,004	0,0632	0,1707
1h	60	1585	1913	785	1513	1,570	3,026	0,0641	0,1719
2h	120	1595	1913	795	1513	1,590	3,026	0,0649	0,1719
4h	240	1608	1931	808	1531	1,616	3,062	0,0660	0,1740
8h	480	1613	1940	813	1540	1,626	3,080	0,0664	0,1750
24h	1440	1617	1956	817	1556	1,634	3,112	0,0667	0,1768
Descarga		1240	1142	440	742	0,880	1,484	0,0359	0,0843

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



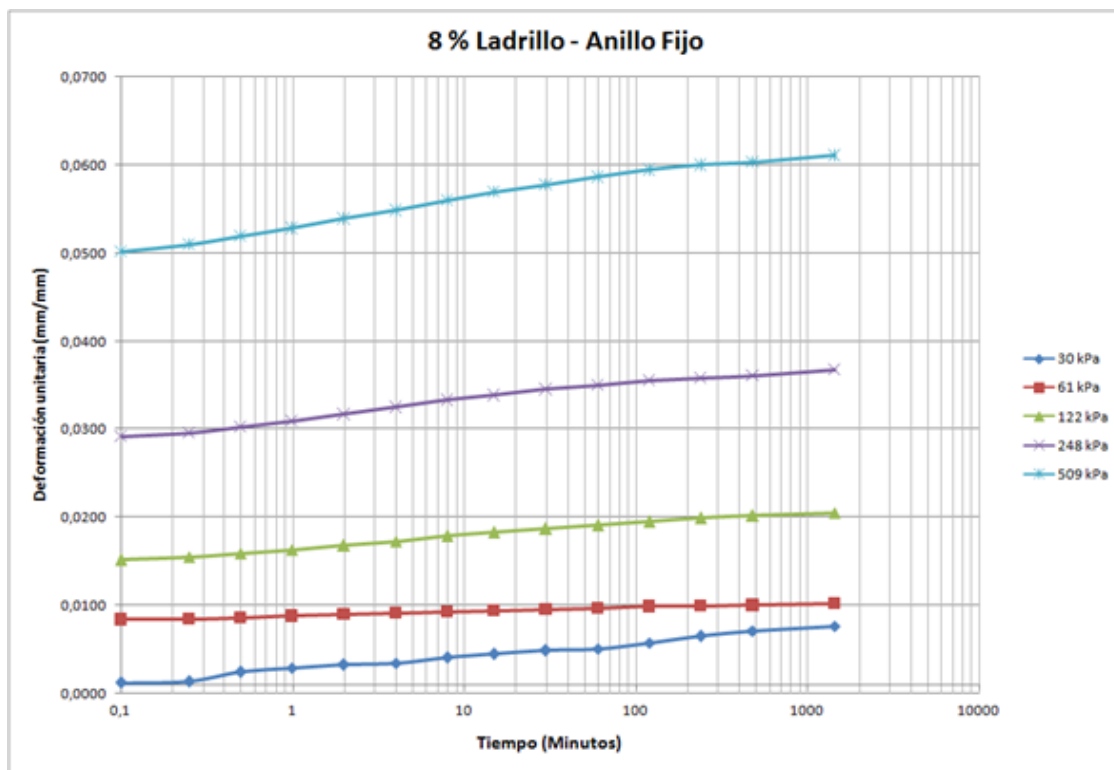


**Anexo 85. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 0% anillo fijo.**

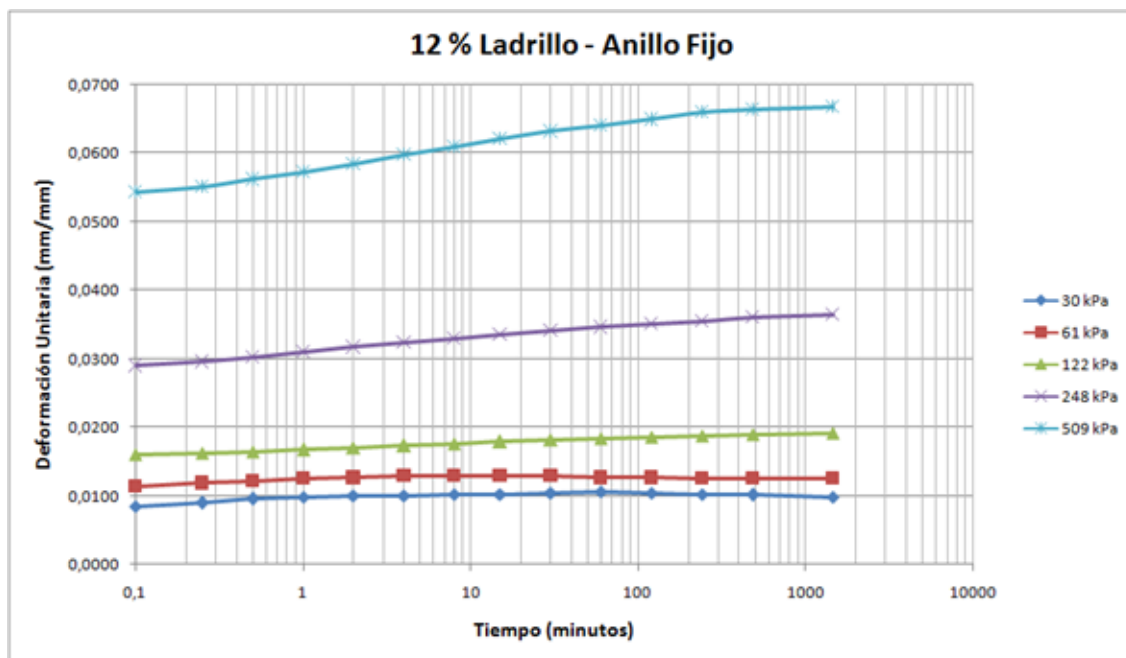


**Anexo 86. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 4 % anillo fijo.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

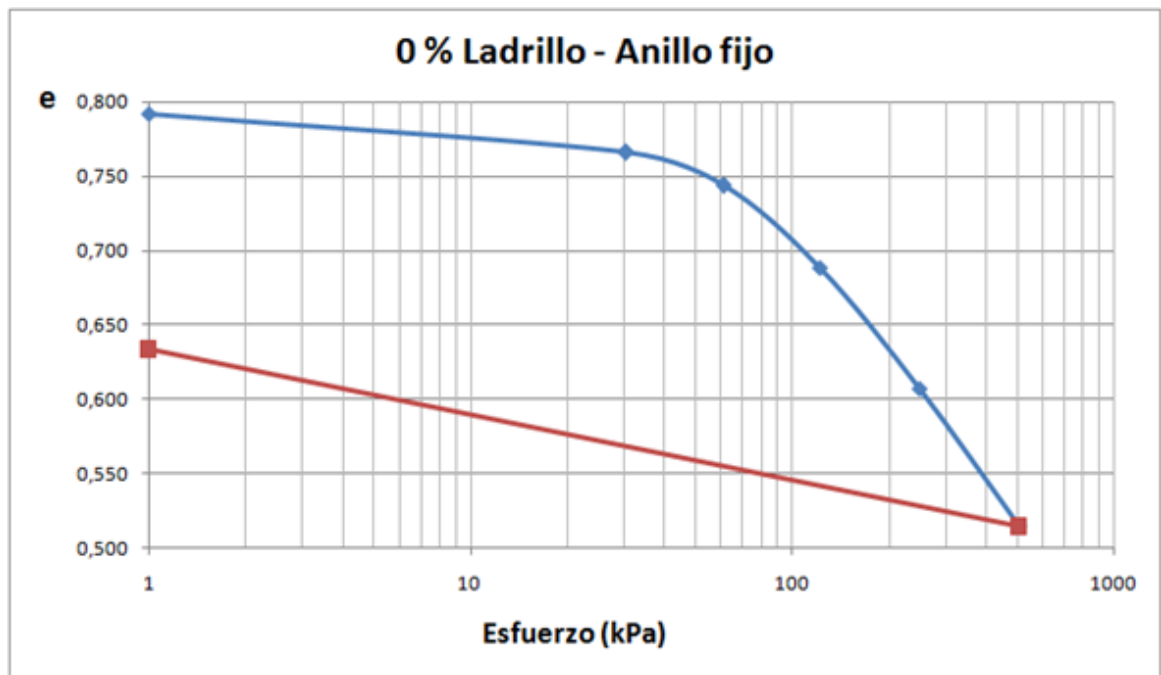


**Anexo 87. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 8 % anillo fijo.**

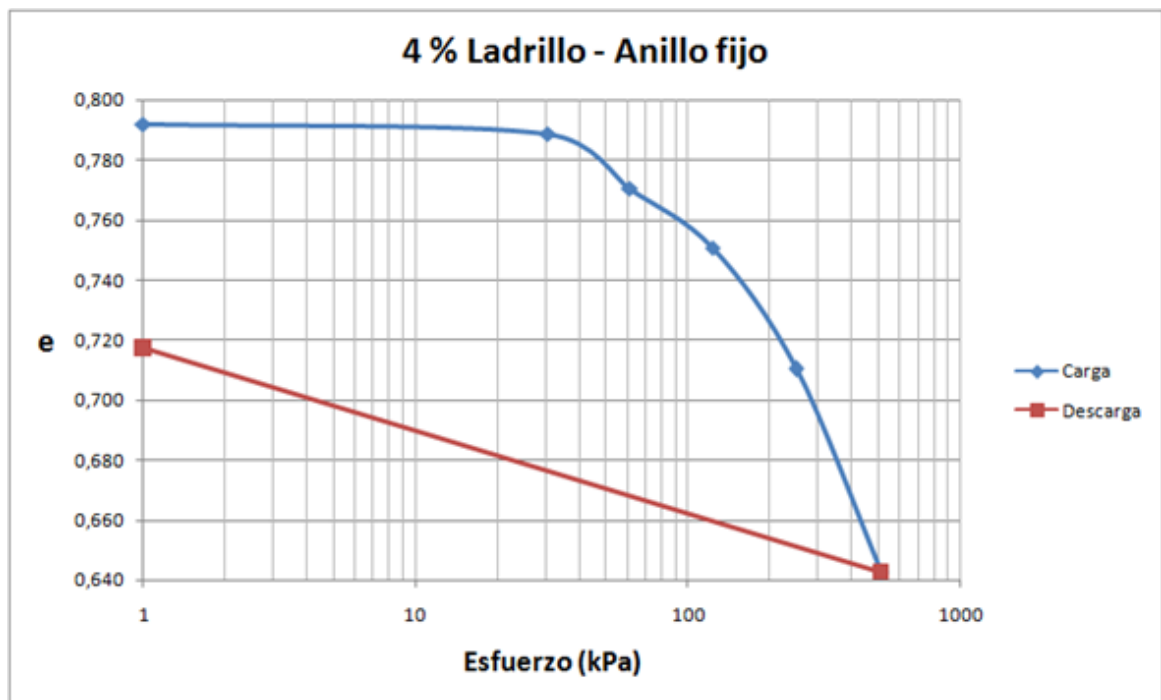


**Anexo 88. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 12 % anillo fijo.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

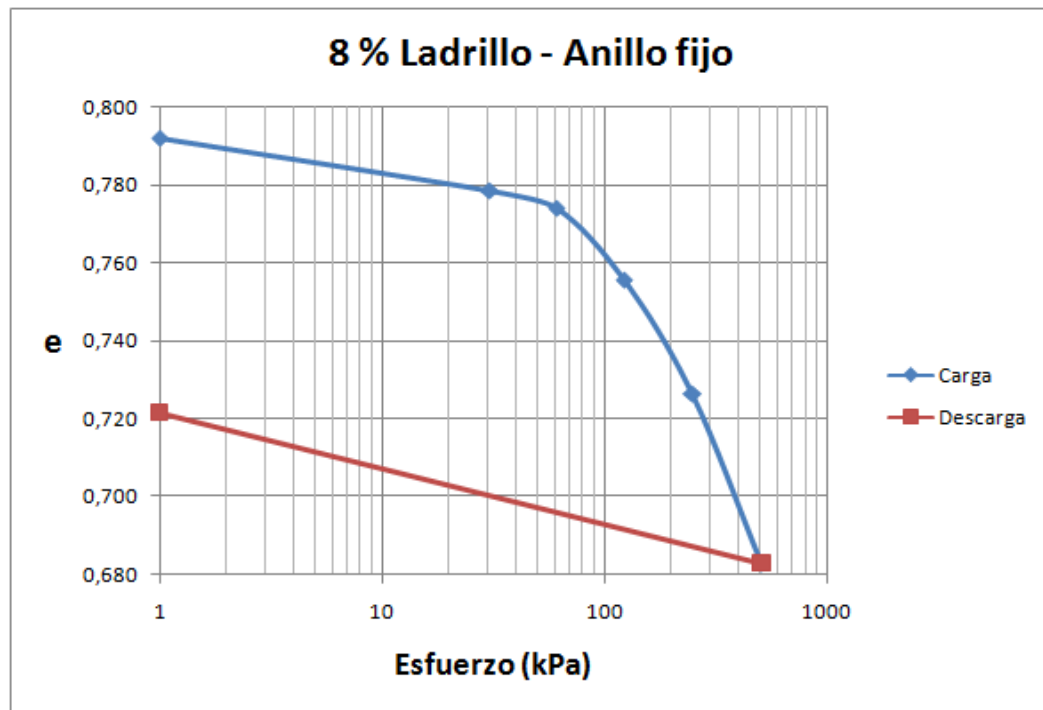


Anexo 89. Gráfica de esfuerzo vs e 0 % anillo fijo.



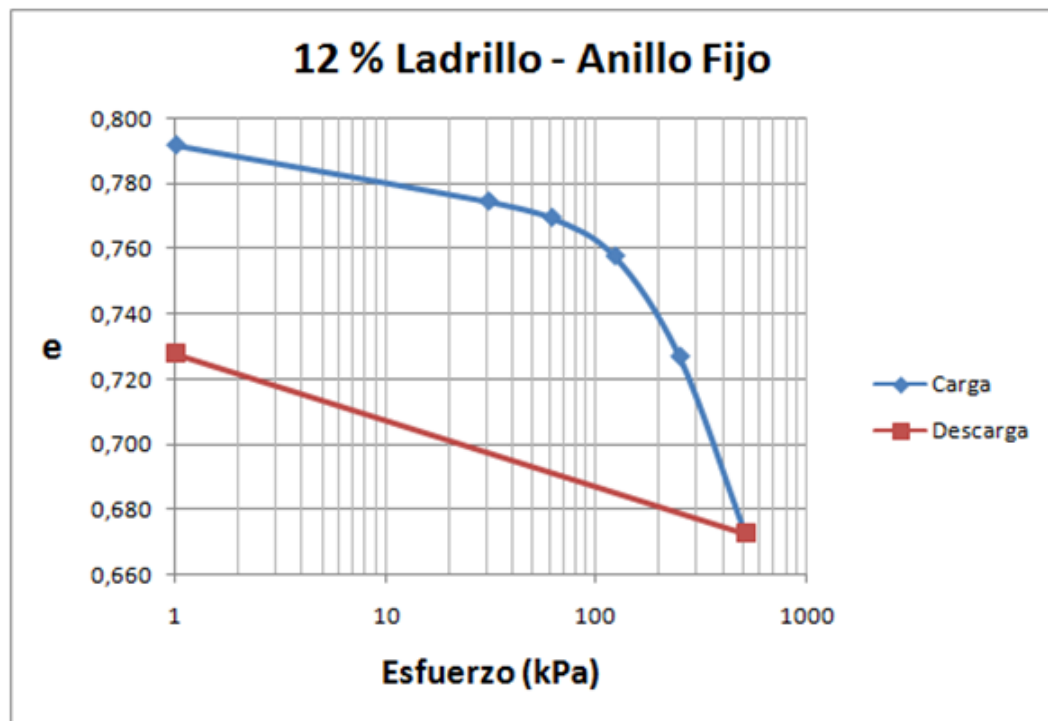
Anexo 90. Gráfica de esfuerzo vs e 4 % anillo fijo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

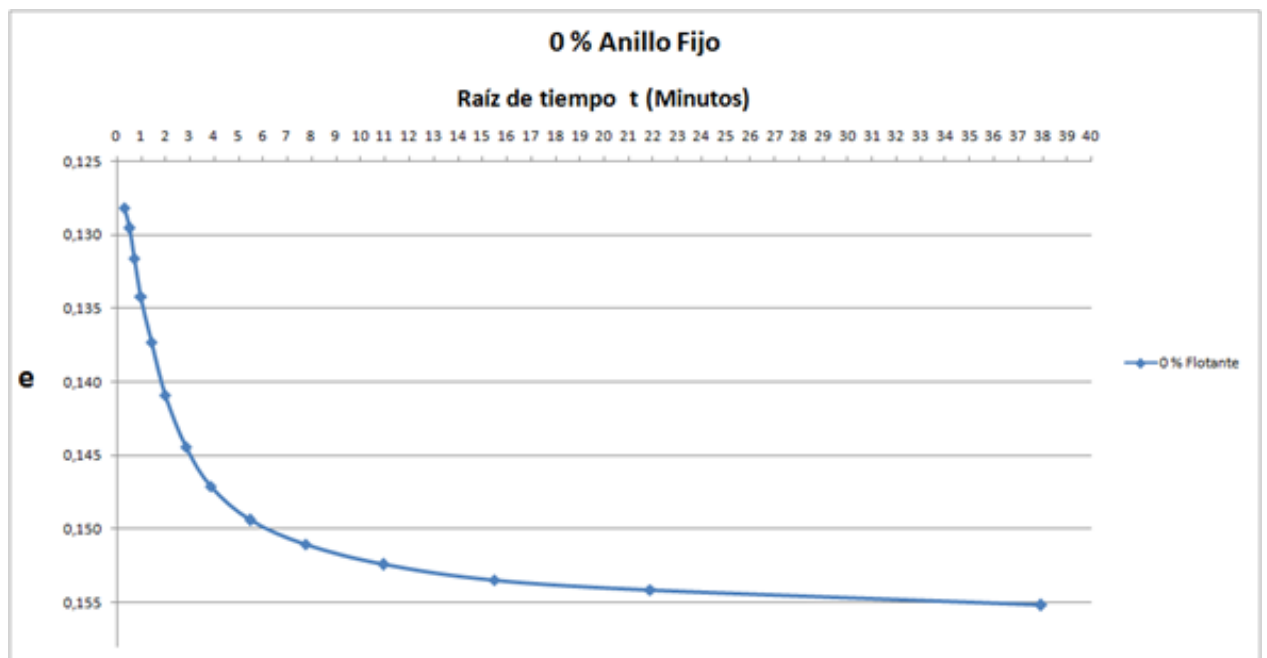


Anexo 91. Gráfica de esfuerzo vs e 8 % anillo fijo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

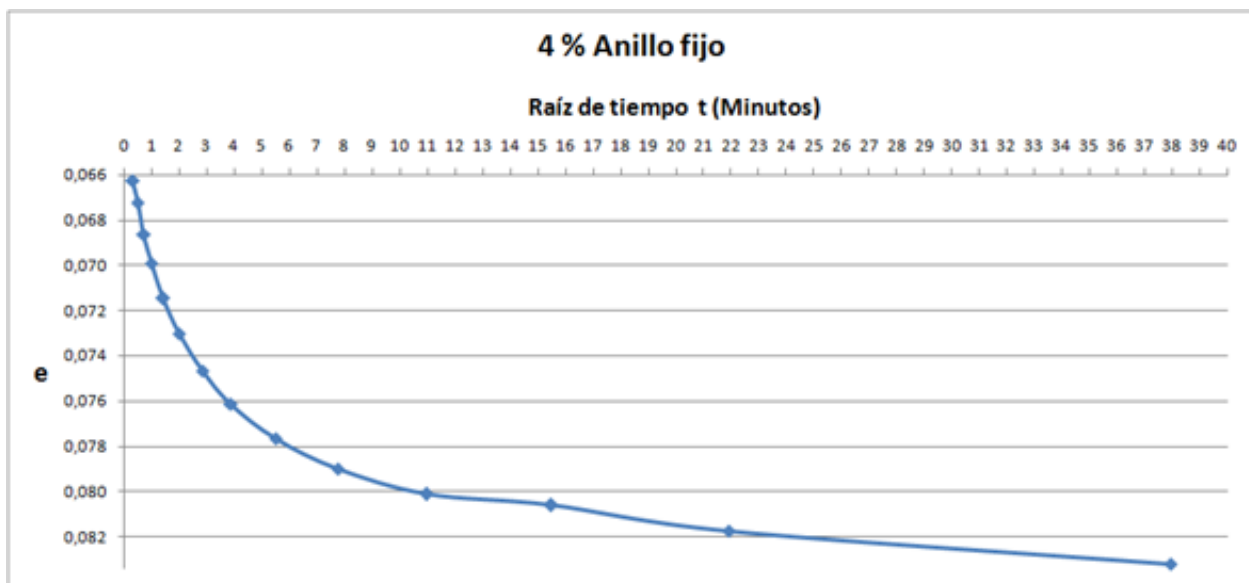


Anexo 92. Gráfica de esfuerzo vs  $e$  12 % anillo fijo.

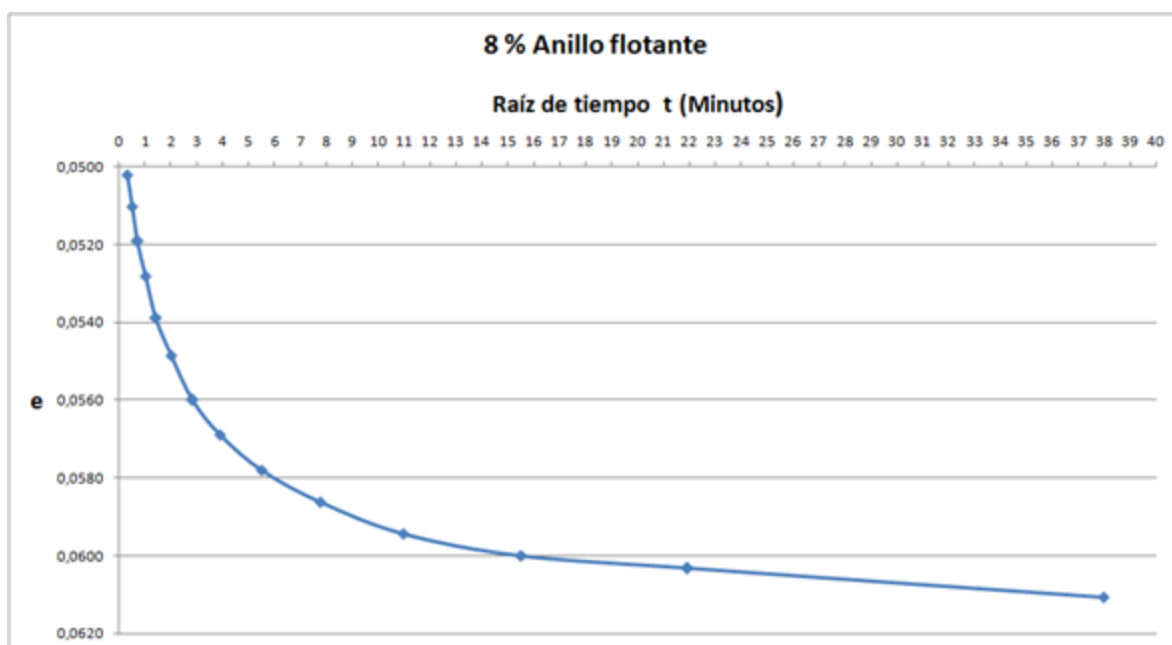


Anexo 93. Gráfica de raíz de tiempo vs  $e$  0 % anillo fijo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

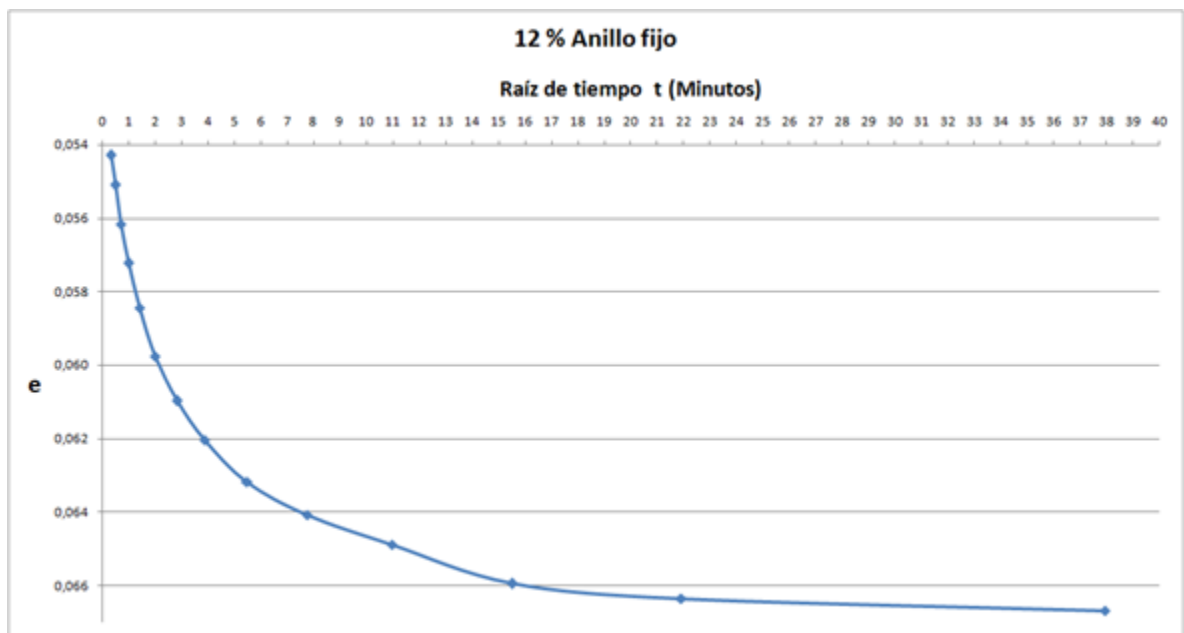


**Anexo 94. Gráfica de raíz de tiempo vs e 4 % anillo fijo.**

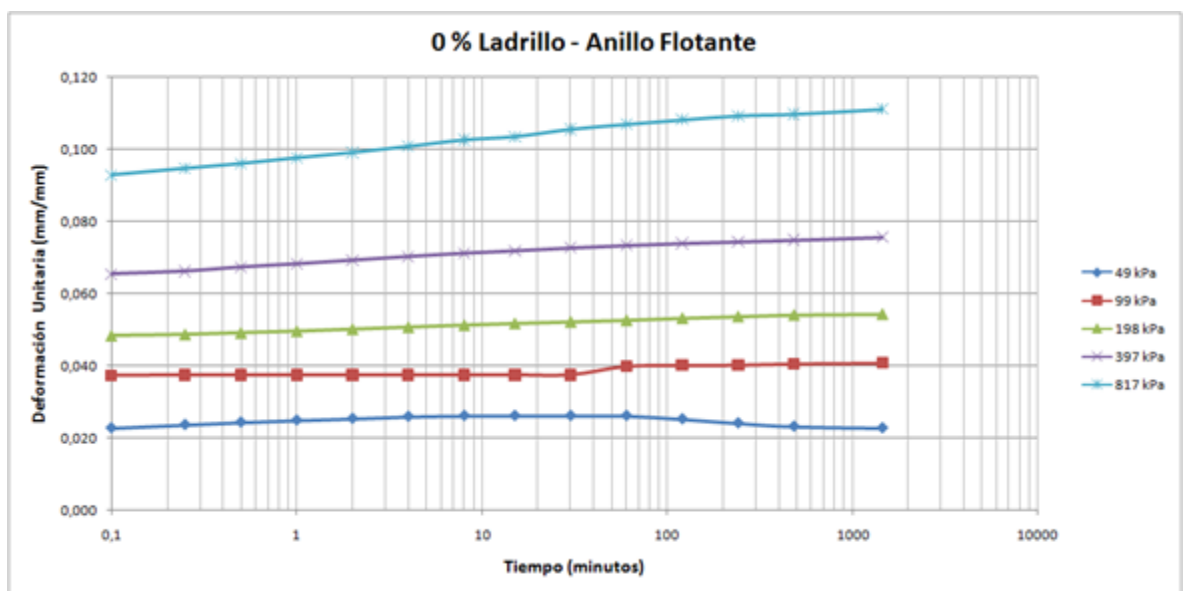


**Anexo 95. Gráfica de raíz de tiempo vs e 8 % anillo fijo.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

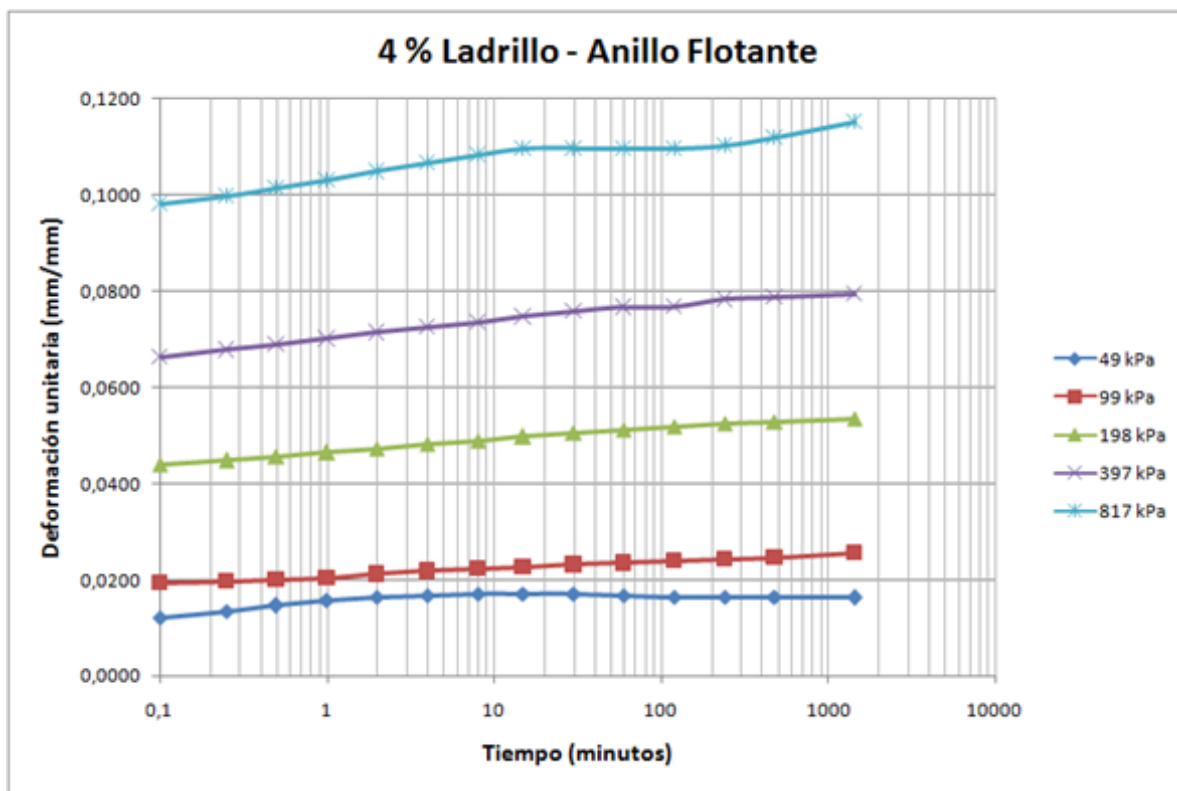


Anexo 96. Gráfica de raíz de tiempo vs  $e$  12 % anillo fijo.



Anexo 97. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 0 % anillo flotante.

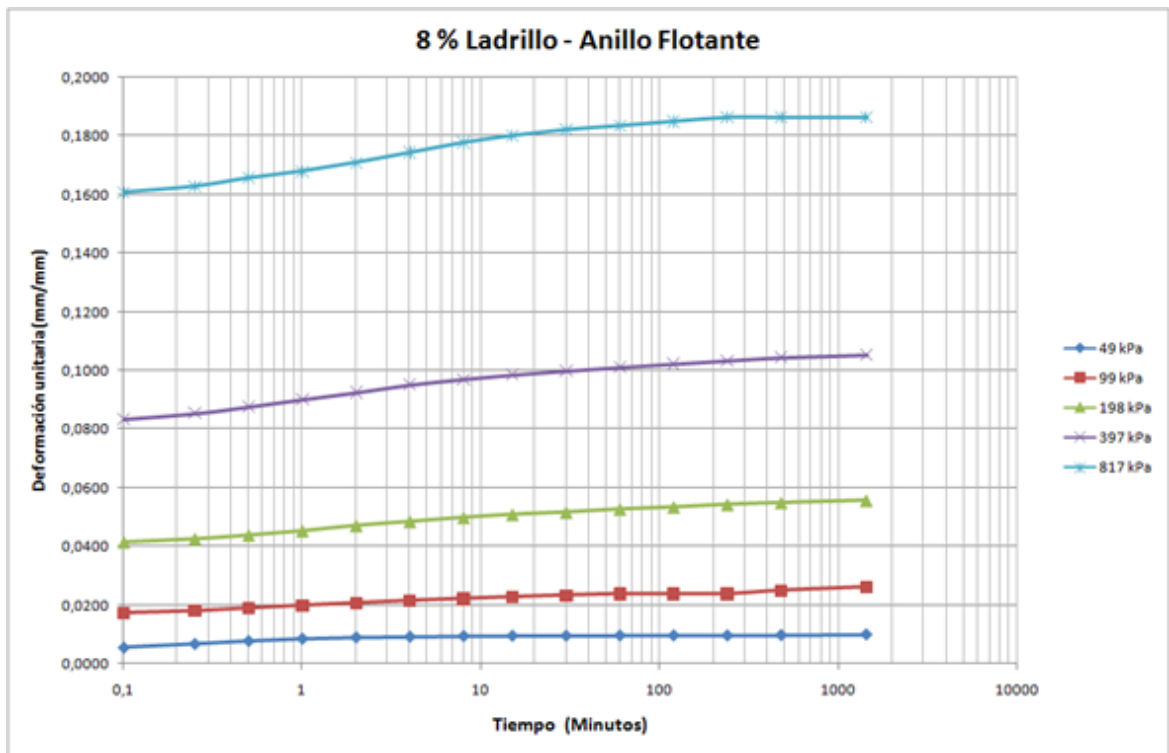
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



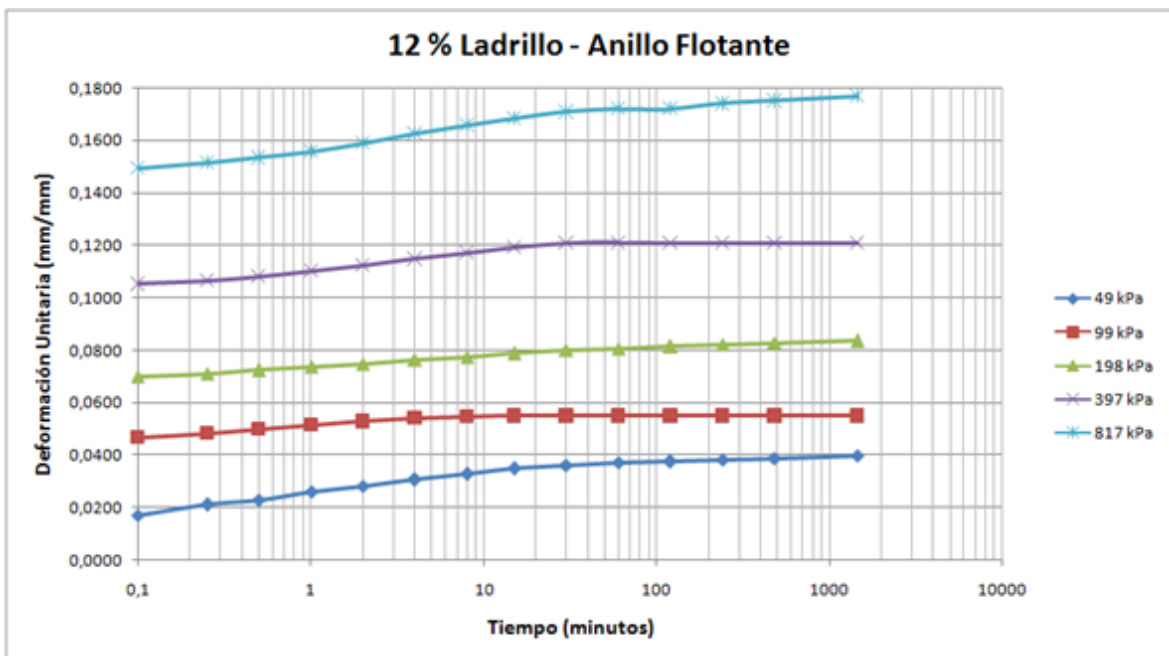
**Anexo 98. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 4 % anillo flotante.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



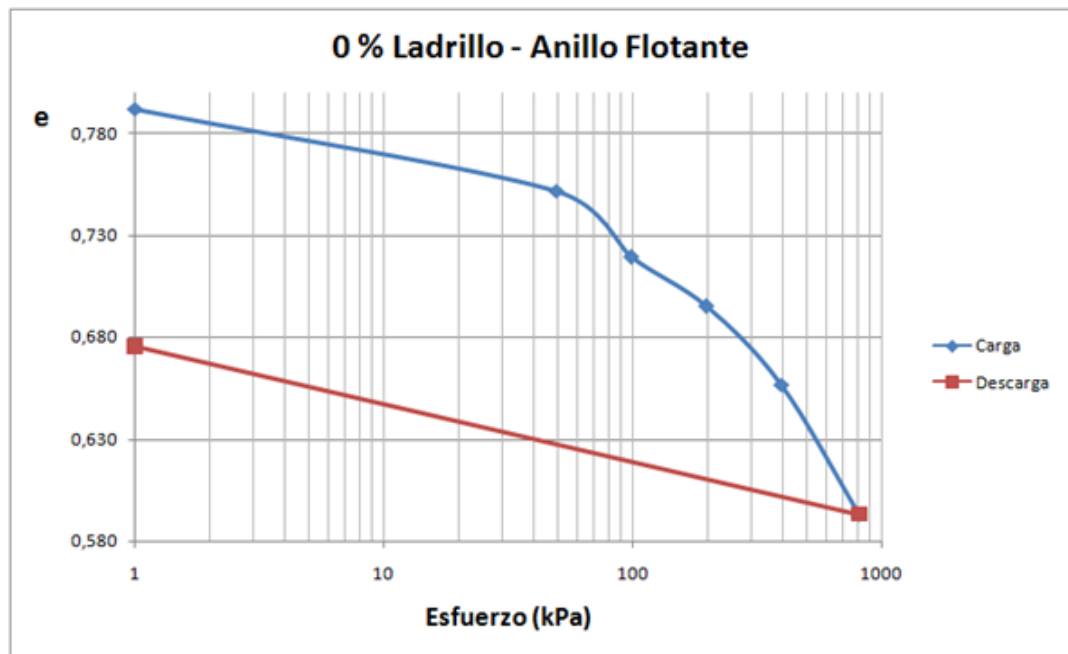


**Anexo 99. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 8 % anillo flotante.**

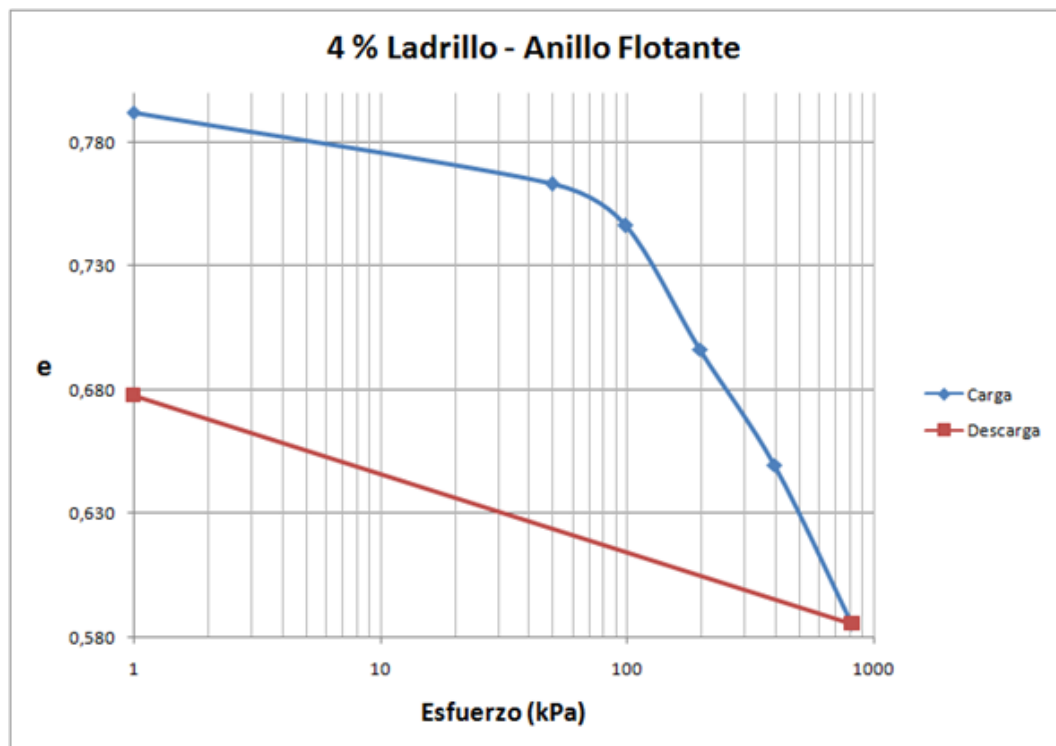


**Anexo 100. Gráfica de tiempo vs deformación unitaria 12 % anillo flotante.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

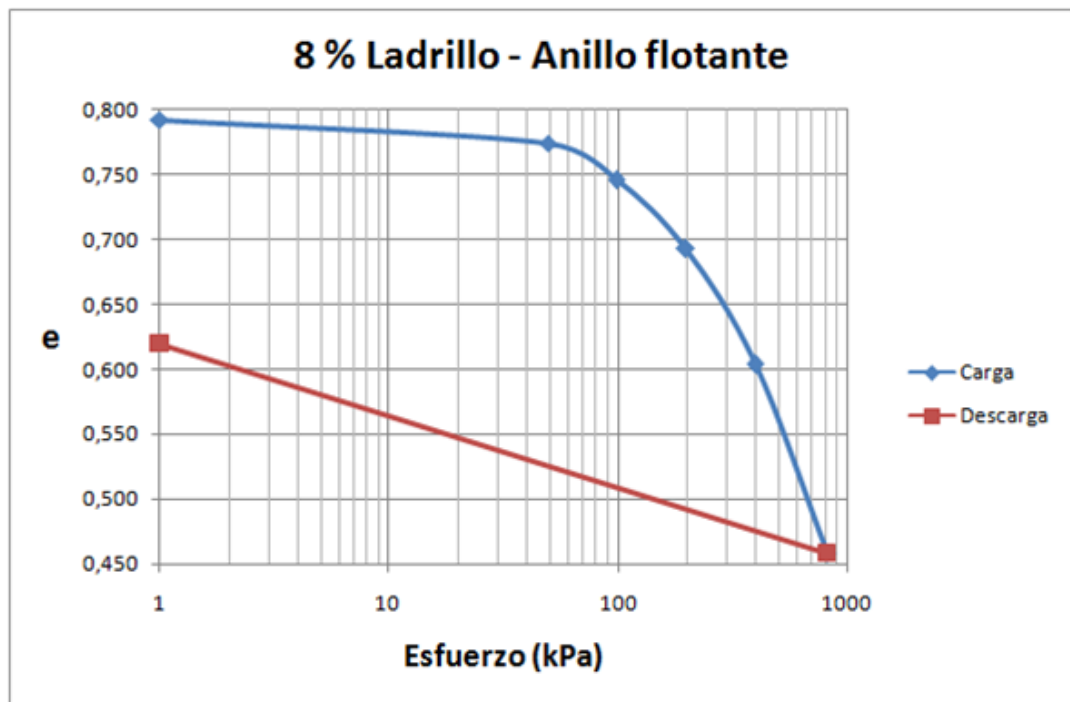


**Anexo 101. Gráfica de esfuerzo vs e 0 % anillo flotante.**

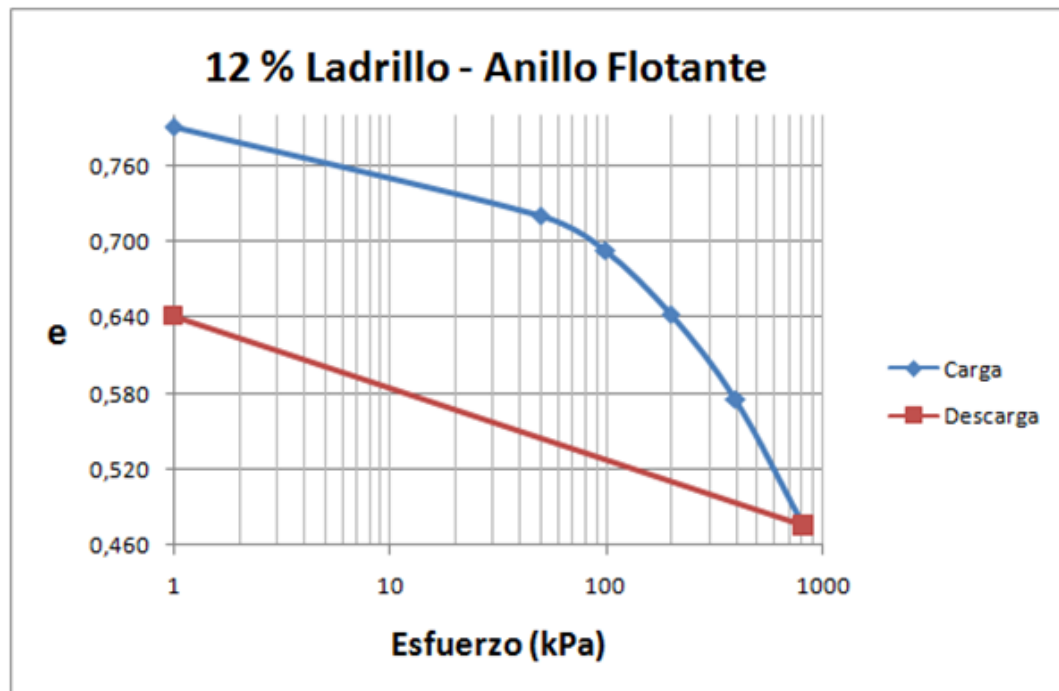


**Anexo 102. Gráfica de esfuerzo vs e 4 % anillo flotante.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

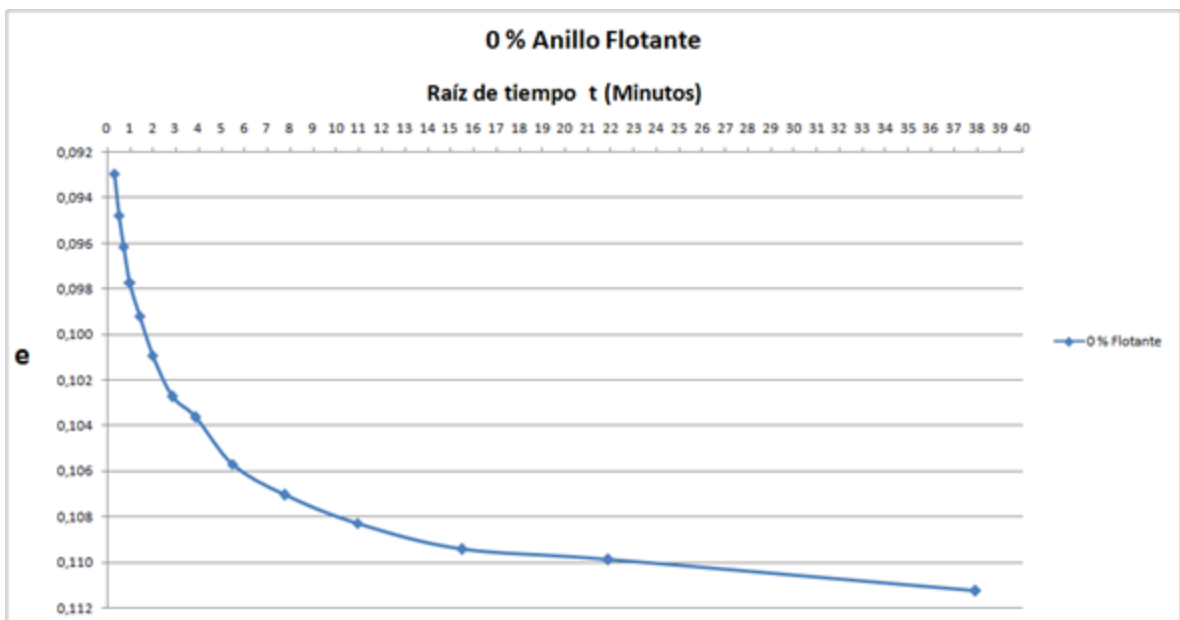


Anexo 103. Gráfica de esfuerzo vs e 8 % anillo flotante.

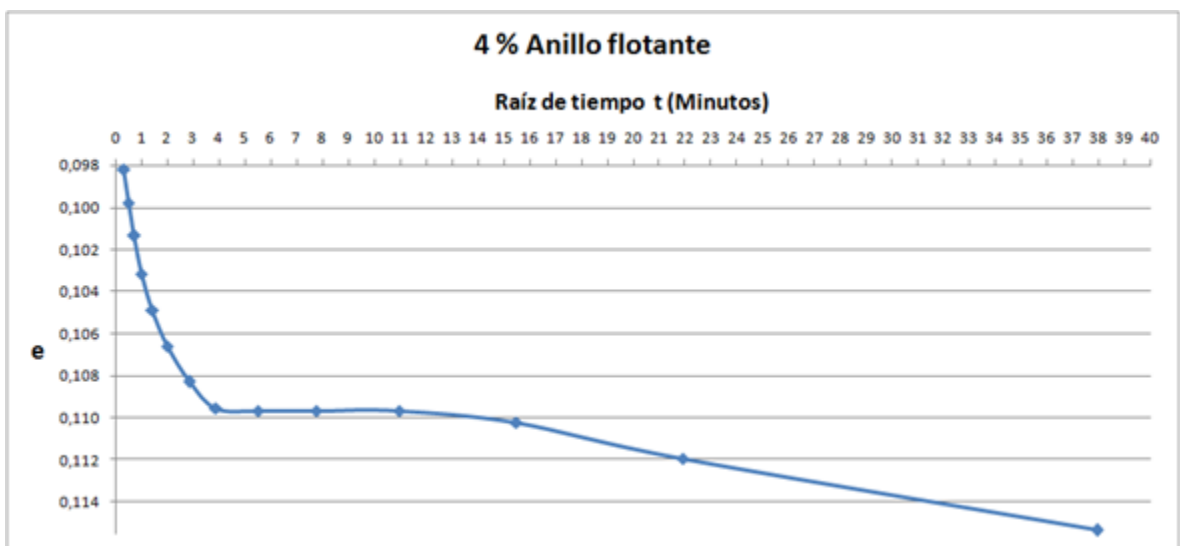


Anexo 104. Gráfica de esfuerzo vs e 12 % anillo flotante.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

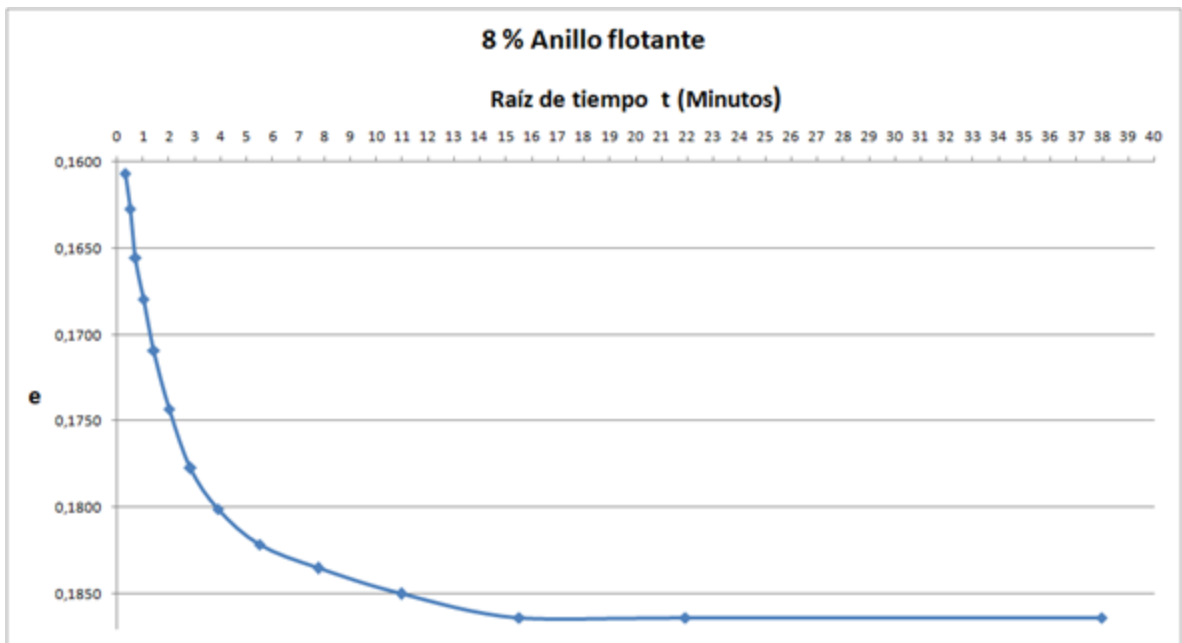


**Anexo 105. Gráfica de raíz de tiempo vs e 0 % anillo flotante.**

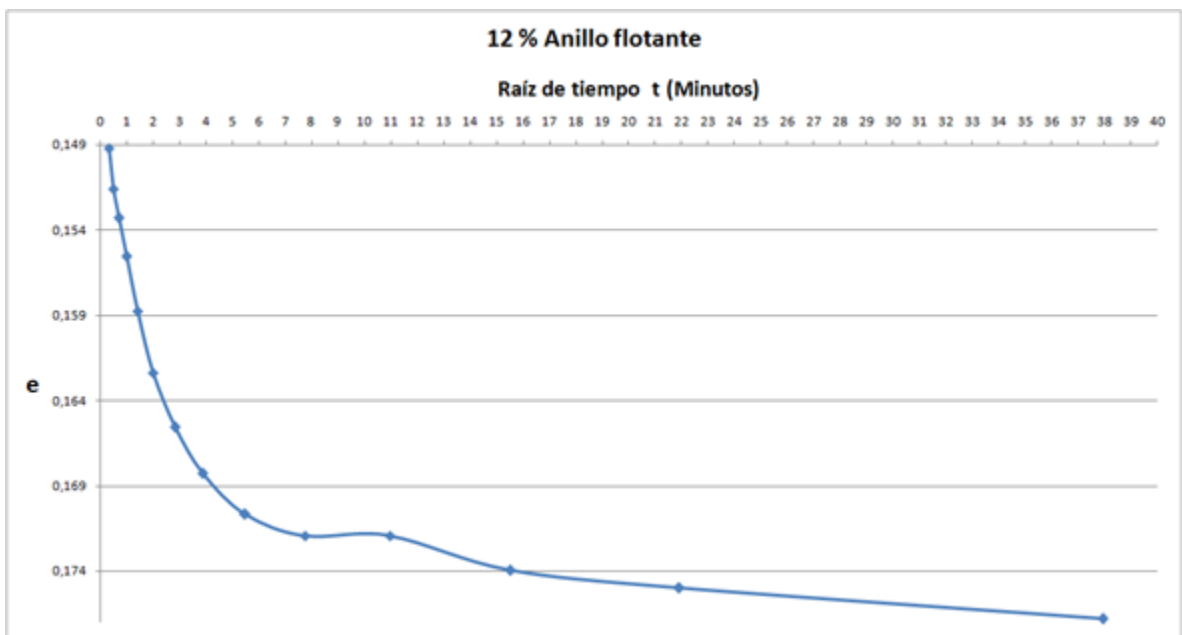


**Anexo 106. Gráfica de raíz de tiempo vs e 4 % anillo flotante.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Anexo 107. Gráfica de raíz de tiempo vs e 8 % anillo flotante.**



**Anexo 108. Gráfica de raíz de tiempo vs e 12 % anillo flotante.**

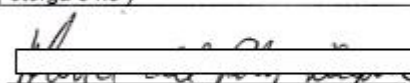
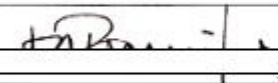
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



## ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA

### ACTA DE EVALUACIÓN FINAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>Fecha: (dd/mm/aa)</b>	21/11/2013						
<b>Nombre del proyecto:</b>	Análisis de las propiedades mecánicas del suelo a partir de la mezcla con residuos de construcción						
<b>Director del proyecto:</b>	Manuel Builes						
<table border="1"><thead><tr><th><b>Nombre del estudiante</b></th><th><b>Programa académico</b></th></tr></thead><tbody><tr><td>David Escobar Zarrabe</td><td>Ingeniería Civil</td></tr><tr><td>Sebastián Giraldo Hoyos</td><td>Ingeniería Civil</td></tr></tbody></table>		<b>Nombre del estudiante</b>	<b>Programa académico</b>	David Escobar Zarrabe	Ingeniería Civil	Sebastián Giraldo Hoyos	Ingeniería Civil
<b>Nombre del estudiante</b>	<b>Programa académico</b>						
David Escobar Zarrabe	Ingeniería Civil						
Sebastián Giraldo Hoyos	Ingeniería Civil						
<b>Nombre del Jurado:</b>							
<b>Evaluación del proyecto:</b>							
<input type="checkbox"/> No aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado							
<b>Espacio exclusivo para jurado</b>							
<input type="checkbox"/> Mención Pública <input type="checkbox"/> Mención honorífica <input type="checkbox"/> Trabajo laureado							
<b>Justificación del reconocimiento:</b> (Artículo 28 del Acuerdo 11: "El director del Programa presentará el acta final de evaluación al Consejo Académico, donde consta la solicitud de mención especial debidamente justificada y el Consejo determinará si se otorga o no")							

	
_____ Director del Programa	_____ Director del Trabajo de Grado

\_\_\_\_\_  
Jurado

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.